Aus der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und plastische Chirurgie

(Univ.-Prof. Dr. med. W. Lehmann)

der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Stellenwert einer bewegungslimitierenden Orthese in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik

– Kurzzeitergebnisse –

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

der Humanmedizin der Medizinischen Fakultät der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Sebastian Heitkamp

aus

Lübbecke

Göttingen 2020

Dekan:	Prof. Dr. med. W. Brück
Referent/in:	Prof. Dr. med. M. Wachowski
Ko-Referent/in:	Prof. Dr. rer.nat.habil. S. Blumentritt
Drittreferent/in:	Prof. Dr. med. M. Oppermann

Datum der mündlichen Prüfung:	19.01.2021

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel

"Stellenwert einer bewegungslimitierenden Orthese in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik – Kurzzeitergebnisse −"

eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Hannover, den …….

I. Inhaltsverzeichnis

II. Abkürzungsverzeichnis III

III. Abbildungsverzeichnis V

IV. Tabellenverzeichnis VII

1. Einleitung 1

1.1 Hintergrund 1
1.1.1 Bandrupturen und Verletzungsmuster von Bändern 1
1.1.2 Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes und Begleitverletzungen 2
1.1.3 Geschichte der Kreuzbandtherapie 2
1.2 Anatomie & Biomechanik 3
1.2.1 Anatomie und histologische Aspekte des Kniegelenks 3
1.2.2 Biomechanik des Kniegelenks 5
1.3 Pathophysiologie 5
1.3.1 Torsionstrauma des Kniegelenkes 5
1.3.2 Pathomechanismus der VKB-Ruptur 6
1.4 Therapie der vorderen Kreuzbandruptur 6
1.4.1 Operative Therapiemöglichkeiten 7
1.4.2 Grundlage der vorderen Kreuzbandplastik 8
1.4.3 Konservative Therapiemöglichkeiten 12
1.5 Rehabilitation nach chirurgischer vorderer Kreuzbandplastik 13
1.5.1 Rehabilitationsstrategien und etablierte Messverfahren 13
1.5.2 Postoperative Bewegungseinschränkung via Orthesenversorgung 16
1.5.3 Postoperative orthesenfreie Beweglichkeit 18
1.6 Zielsetzung 19

2. Material und Methoden 21

2.1 Rekrutierung der Studienteilnehmer und Einschlusskriterien 21
2.2 Operations- und Rehabilitationsverfahren 21
2.2.1 Untersuchungsablauf 22
2.2.2 Studiendesign 23
2.3 Beschreibung der klinischen Fragekataloge und Scores 24
2.3.1 Knee Society-Score (KSS) 24
2.3.2 Oxford Knee Score (OKS) 24
2.3.3 Tegner Acivity Level Scale (TAS) 25
2.3.4 Visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung (VAS) 25
2.4 Beschreibung des Messinstrumentariums 26
2.4.1 Arthrometrie (GNRB® Rotab) 26
2.4.2 Isometrie und propriozeptive bzw. posturale Standversuche 27

2.5 Statistik 29

3. Ergebnisse 30

3.1 Deskriptive Studienteilnehmerdaten 30
3.1.1 Gesamtteilnehmeranzahl und Gruppenverteilung 30
3.1.2 Geschlechter- und Altersverteilung 31
3.1.3 Aktivitäts- und Traumaanamnese 32
3.2 Ergebnisse aus Score und Fragenkatalogen 34
3.2.1 KSS Ergebnisse (Knee Society Score) 34
3.2.2 OKS Ergebnisse (Oxford Knee Score) 35
3.2.3 TAS Ergebnisse (Tegner-Activity-Score) 36
3.2.4 VAS Ergebnisse (Visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung) 36
3.3 Ergebnisse der arthrometrischen Messung (Rotab) 38
3.4 Ergebnisse der isometrischen Messung 45
3.4.1 Ergebnisse der Goniometrie (Winkelmessung) 45
3.4.2 Ergebnisse der Balance-Board Versuche 50
3.4.3 Ergebnisse der einbeinigen Romberg-Stehversuche 53
3.5 Zusammenfassung und Auswertung der Ergebnisse 57

4. Diskussion 60

4.1 Zusammenfassung der allgemeinen Daten- und Studienlage 60
4.2 Diskussion der Untersuchungen 62
4.2.1 Diskussion der Ergebnisse aus den Scores 62
4.2.2 Diskussion der arthrometrischen Messung (Rotab) 64
4.2.3 Diskussion der isometrischen Messungen und Balancierversuche 70
4.3 Schlussfolgerung 78

5. Zusammenfassung 79

6. Anhang 81

7. Literaturverzeichnis 88

II. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Art.	Articulatio
Betr.	Betroffen
BTB	Bone-Tendon-Bone (Knochen-Sehne-Knochen)
Diff.	Differenz
DLS	double-leg-stance (Zweibeinstand)
EC	eyes-closed (Augen geschlossen)
EO	eyes-open (Augen geöffnet)
Fa	Firma
GNRB®	Firma Genourob®
GT	Gracilis-Tendon (Gracilissehne)
HKB	Hinteres Kreuzband
JPS	joint-position-sense (Gelenkpositionierungsempfinden)
Kontr.	Kontralateral
KSS	Knee Society Score
KSSF	Knee Society Score "Function"
KSSK	Knee Society Score "Knee"
KT-1000™	Knee Ligament Arthrometer
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MRT	Magnetresonanztomographie
N	Newton
NO-Gruppe	Nicht-Orthesengruppe
n.s.	nicht signifikant
NRS	Numerische Ratingskala „Schmerz"

O-Gruppe	Orthesengruppe
OKS	Oxford Knee Score
OP	Operation
Prä (-OP)	präoperativ
Post (-OP)	postoperativ
PRP	passive-repositioning (Passive Wiederherstellung einer Gelenkposition)
ROM	Range of motion (Bewegungsumfang)
SLS	single-leg-stance (Einbeinstand)
ST	Semitendinosus-Tendon (Semitendinosussehne)
STG	Semitendinosus-Gracilis-Graft (Semitendinosus-Gracilis-Transplantat)
t0	Untersuchungszeitpunkt vor der Operation (präoperativ)
t1	Untersuchungszeitpunkt drei Monate nach der Operation (postoperativ)
TAS	Tegner-Aktivity-Score (Tegner-Aktivitätslevel)
TTDPM	threshold to detect passive motion (Schwellenwert zur Empfindung einer passiven Bewegungsänderung)
UMG	Universitätsmedizin Göttingen
VKB	Vorderes Kreuzband

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk von vorne eröffnet. 4
Abbildung 2: Die Bündel des vorderen Kreuzbandes des Kniegelenkes bei maximaler Flexion. 4
Abbildung 3: Darstellung der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung aus dem in dieser Studie verwendeten Fragebogen. 25
Abbildung 4: GNRB® Rotab Arthrometrie Modellaufnahme und mit eingespanntem rechtem Knie. 26
Abbildung 5: Graphische Auftragung der arthrometrischen Messwerte beider Extremitäten eines Beispielprobanden. 27
Abbildung 6: Gruppenverhältnisse zum jeweiligen Zeitpunkt vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1). 30
Abbildung 7: Geschlechterverteilung der Gesamtstudie, Geschlechterverteilung innerhalb der O- und NO-Gruppe 31
Abbildung 8: Altersverteilung der Studienteilnehmer und -teilnehmerinnen der Gesamtstudie. 32
Abbildung 9: Traumaursache der Studienteilnehmer der Gesamtstudie. 32
Abbildung 10: Traumaursache der Studienteilnehmer in den jeweiligen Gruppen. 33
Abbildung 11: Seitenverhältnis der jeweils betroffenen Extremität aller Studienteilnehmer. 33
Abbildung 12: Vergleich von O- und NO-Gruppe im Knee Society Kniescore (KSSF) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1) 34
Abbildung 13: Vergleich von O- und NO-Gruppe im Knee Society Funktionsscore (KSSK) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1) 35
Abbildung 14: Vergleich von O- und NO-Gruppe Oxford Knee Score (OKS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1). 35
Abbildung 15: Vergleich von O- und NO-Gruppe im Tegner-Aktivitätslevel (TAS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1) 36
Abbildung 16: Vergleich von O- und NO-Gruppe in der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung (VAS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1). 37
Abbildung 17: O-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t0 39
Abbildung 18: O-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t1 39
Abbildung 19: NO-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t0 40
Abbildung 20: NO-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t1 40
Abbildung 21: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 134 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1). 41
Abbildung 22: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 150 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1). 41
Abbildung 23: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 200 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1). 42
Abbildung 24: Winkelmessung (Goniometrie) in der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation(t0) 46
Abbildung 25: Winkelmessung (Goniometrie) in der Orthesengruppe (O-Gruppe) drei Monate nach der Operation (t1) 46
Abbildung 26: Winkelmessung (Goniometrie) in der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der OP (t0) 47

Abbildung 27: Winkelmessung (Goniometrie) in der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) drei Monate nach der Operation (t1). 48
Abbildung 28: Vergleich der Winkelmessung (Goniometrie) am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe drei Monate nach der Operation (t1) mit und ohne vorheriger Demonstration einer 90° Flexion. 48
Abbildung 29: Balance-Board-Versuche beider Extremitäten der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach(t1). 50
Abbildung 30: Balance-Board-Versuche beider Extremitäten der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach(t1). 51
Abbildung 31: Vergleich der Balance-Board-Versuche am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe vor der Operation und drei Monate danach. 52
Abbildung 32: Einbeiniger Romberg-Stehversuch beider Extremitäten der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1). 54
Abbildung 33: Einbeiniger Romberg-Stehversuch beider Extremitäten der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1). 54
Abbildung 34: Vergleich des einbeinigen Romberg-Stehversuches am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe vor der Operation und drei Monate danach..... 55

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswertungsschlüssel zum Oxford Knee Scores (Modifiziert nach Dawson et al 1998). 24
Tabelle 2: Übersicht der Ergebnisse aus den Scores.....37
Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse aus der Arthrometrie (Rotab) des Betroffenen Kniegelenkes..43
Tabelle 4: Übersicht der Ergebnisse aus der Arthrometrie (Rotab) des Nicht-betroffenen Kniegelenkes. 44
Tabelle 5: Übersicht der Ergebnisse aus der Goniometrie. 49
Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse aus den Balance-Board Versuchen. 53
Tabelle 7: Übersicht der Ergebnisse aus den einbeinigen Romberg-Stehversuchen. 56

1. Einleitung

1.1 Hintergrund

Die folgende klinische prospektiv randomisierte Studie beschäftigt sich mit dem Stellenwert einer bewegungslimitierenden Orthese für die Nachbehandlung einer vorderen Kreuzbandplastik mit anatomischer Bohrkanalplatzierung unter Verwendung der Semitendinosus- und ggf. Gracilissehne. Die Evidenz zur Nachbehandlung ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt, besonders bezogen auf das Semitendinosustransplantat, nicht ausreichend geklärt. Der Vergleich zweier prospektiv randomisierter Patientengruppen, mit Orthese (O-Gruppe) und ohne Orthesenverwendung (NO-Gruppe) im Rahmen der Nachbehandlung an zwei Zeitpunkten (t0: präoperativ, t1: drei Monate postoperativ), steht im Vordergrund dieser Ausarbeitung. Hierzu wurden Testverfahren zur Evaluation der mechanischen Stabilität, posturalen Standkontrolle und Propriozeption durchgeführt. Es handelt sich im Einzelnen um eine Arthrometrie (GNRB® Rotab), isometrische Messungen zur Begutachtung von Propriozeption (Goniometrie) und posturaler Standkontrolle (Balancetestung mit Balanceboard und einbeiniger Stehversuch nach Romberg). Begleitend kamen verschiedene, etablierte klinische Scores zur Anwendung (*Knee-Society-Score, Oxford Knee Score,* Tegner-Aktivitätslevel, visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung).

1.1.1 Bandrupturen und Verletzungsmuster von Bändern

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist mit einer Inzidenz von ca. 0,5-1:1000 Einwohnern in den Industrieländern eine der häufigsten Bandverletzung (Hertel 1996; Majewski et al. 2006). Eine Spontanheilung findet nahezu nie statt, sodass die Augmentation zur Rekonstruktion und Wiederherstellung der Stabilität in der Regel immer notwendig ist, um chronische Instabilität und nachfolgende Meniskusschäden zu vermeiden (Kessler et al. 2008; Mihelic et al. 2011) . Allein in Deutschland werden geschätzt 35.000 vordere Kreuzbandplastiken pro Jahr durchgeführt (Teske et al. 2010), wobei sich operative Technik, verwendetes Sehnenmaterial und Nachbehandlungsschema zum großen Teil unterscheiden. In den meisten Fällen wird die Sehne des M. semitendinosus und ggf. zusätzlich die des M. gracilis verwendet. Manche Chirurgen bevorzugen aber weiterhin das mittlere Drittel der Patellarsehne oder in Ausnahmefällen auch andere Sehnen, um das vordere Kreuzband zu ersetzen. Bei der Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik indes findet sich eine starke Inhomogenität und ein nahezu vollständiger Mangel an Evidenz. Im Besonderen ist die aktuelle Studienlage bezüglich der Notwenigkeit der

postoperativen Verwendung von bewegungslimitierenden Orthesen ungenügend. Aspekte zur Transplantatstabilität und Propriozeption sind jedoch kaum erforscht

1.1.2 Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes und Begleitverletzungen

Die Kreuzbänder haben aufgrund ihrer Struktur und Aufgabe als wichtigste Stabilisatoren des Kniegelenks ein hohes Maß an Verletzungsanfälligkeit (Strobel und Zantop 2014). Diese Anfälligkeit kommt durch die enormen, auf das Kniegelenk einwirkenden Kräfte zustande, die insbesondere bei komplexeren und schnellen Bewegungsabläufen im Sport stattfinden. Das vordere Kreuzband kann über eine Dehnung (Grad I) und eine Teilruptur (Grad II der Bandverletzungen) komplett zerreißen (Grad III der Bandverletzungen) (Boden et al. 2010, Renstrom et al. 2008, Jagodzinski et al. 2016) . Bei der Betrachtung der Bewegungsabläufe, die zu einer Ruptur führen können wird deutlich, dass der Großteil aller VKB-Rupturen ohne Fremdeinwirkung zu Stande kommt (Boden et al. 2010, Renstrom et al. 2008, Jagodzinski et al. 2016). Oft finden sich Begleitverletzungen anderer Strukturen, die das schlechte *Outcome* mancher VKB-Rupturen erklären können (Teske et al. 2010). Zu ihnen gehören Grad I bis II Verletzungen der medialen und lateralen Synergisten, vor allem im Bereich der Popliteus- und Semimembranosusecken. Verletzungen von Menisken, Gelenkknorpel und Kollateralbänder sind ebenfalls häufige Begleitschäden einer vorderen Kreuzbandruptur. Knorpel- und Meniskusschäden entstehen sowohl akut, als auch chronisch (Dye et al. 1999; Gillquist und Messner 1999; Johnson et al. 2015; Teske et al. 2010). Sehr selten sind Schäden an der Patellarsehne und/oder dem hinteren Kreuzband im Rahmen einer VKB-Verletzung zu verzeichnen (Mariani et al. 2013, Strobel und Zantop 2014). .

1.1.3 Geschichte der Kreuzbandtherapie

Nachdem Robert Adams 1837 den ersten Fallbericht einer vorderen Kreuzbandruptur beschrieben hat (Schindler 2012b), wurde 1895 die erste operative Versorgung dieser Verletzung von Robson durchgeführt, der eine primäre Naht des gerissenen Bandes durchführte (Schindler 2012b). Lange schlug 1903 eine operative Ersetzung des vorderen Kreuzbandes mit einem Fremdmaterial vor. Es handelte sich hierbei um Bänder aus Seide (Schindler 2012b). Gefolgt wurde dieser Vorschlag von den ersten autologen vorderen Kreuzbandplastiken durch Grekow 1914, und weiteren Techniken von Hey-Groves 1917. Grekow präparierte einen Streifen der Faszia lata, um einen VKB-Ersatz zu bilden (Schindler 2012a, 2012b). Hey-Grooves stellte Unterschiede zwischen autologen, allogenen und künstlichen Materialen heraus (Schindler 2012b). Parallel zur vorderen Kreuzbandplastik entwickelte sich die Operationsform bezüglich des operativen Zugangs zum Kniegelenk (Arthrotomie, Mikroarthrotomie, Arthroskopie), sowie

die technischen Instrumente. Seit den 1990er Jahren wurden die Kreuzbandplastiken vermehrt arthroskopisch operiert und lösten damit die klassischem Arthrotomien ab (Mahapatra et al. 2018).

1.2 Anatomie & Biomechanik

1.2.1 Anatomie und histologische Aspekte des Kniegelenks

Das Kniegelenk (lat.: Articulatio genus) ist ein äußerst komplexes Gelenk, da multiple Strukturen am Aufbau dieses Gelenkes beteiligt sind. Funktionell ist es ein Schaniergelenk mit einer Rotationskomponente. Es besteht aus dem Femorotibialgelenk (Art. femorotibialis) und dem Femoropatellargelenk (Art. femoropatellaris), wobei das bikondyläre Femorotibialgelenk als Trochoginglymus eine Roll-Gleitbewegung initiiert und die Patella, samt ihres dazugehörigen Gelenkes, eine Hypomochlionfunktion für die Quadrizepssehne besitzt (Benninghoff und Drenckhahn 2008). Zwischen den Gelenkflächen von Femur und Tibia befinden sich ein sichelförmig, medial- und kreisförmig, lateral-ansässiger Meniskus. Histologisch bestehen die Menisken aus Faserknorpel. Medial und lateral verbinden zwei Bänder Femur und Tibia, welche vor Varus- oder Valgusauslenkung schützen. Intrakapsulär, jedoch extrasynovial liegen die Kreuzbänder. Vom lateralen Femurkondylus bis zur anterioren Area intercondylaris auf dem Tibiaplateau, verläuft das vordere Kreuzband (Lig. cruciatum anterior, VKB). Das hintere Kreuzband (Lig. cruciatum posterior, HKB) erstreckt sich vom medialen Femurkondylus bis zum Ansatz rückseitig der Tibia (Benninghoff und Drenckhahn 2008) Das vordere Kreuzband kann zudem in ein anteromediales und posterolaterales Bündel unterteilt werden. Das hintere Kreuzband hingegen in ein anterolaterales, sowie posteromediales Bündel (Benninghoff und Drenckhahn 2008, Anderson et al. 2012). Das anteromediale Bündel ist vor allem. für die Translationsstabilität und das posterolaterale Bündel eher für die Sicherung gegen Rotation im Kniegelenk essentiell (Jagodzinski et al. 2016). Die aus straffen, kollagenen Bindegewebsfasern bestehenden Kreuzbänder (dünnste Stelle mittig 33 mm^2), inserieren aufgefächert in das Femur (34 mm^2) und die Tibia (42 mm^2) (Duthon et al. 2006) Durch eine derartige Auffächerung wird die Insertionsfläche vergrößert und die Fixation im Knochen verbessert (Duthon et al. 2006, Oka et al. 2016). Im Bereich des proximalen und distalen Drittels der Bänder befinden sich intraligamentäre Mechanorezeptoren, die eine wichtige Funktion in der propriozeptiven Gelenkführung, sowie der Schutzreflexe haben (Birmingham et al. 2002; Çabuk et al. 2016; Relph et al. 2014). Diese sind aus zum Großteil den Ruffinikörperchen angehörig (Çabuk et al. 2016).

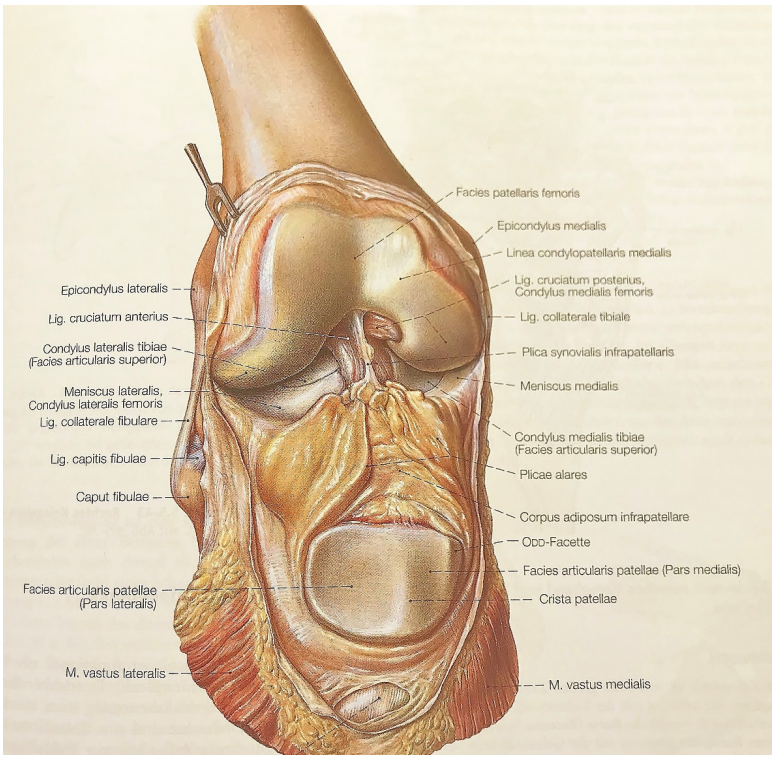


Abbildung 1: Rechtes Kniegelenk von vorne eröffnet. [mit freundlicher Genehmigung aus: Benninghoff, Drenckhahn; Anatomie Band 1, 17. Auflage 2008].

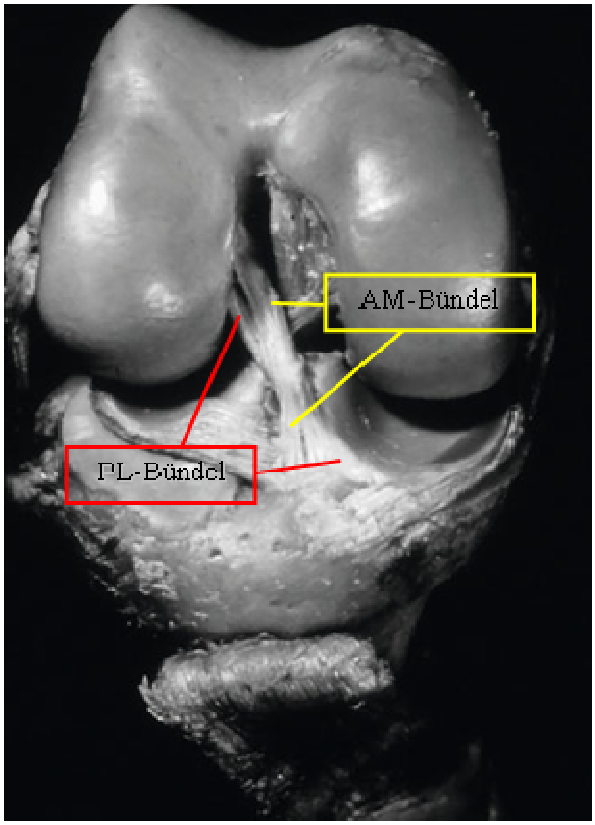


Abbildung 2: Die Bündel des vorderen Kreuzbandes des Kniegelenkes bei maximaler Flexion [mit freundlicher Genehmigung aus: M. Jagodzinski, Müller, Friederich; Das Knie. Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. 2. Auflage 2016].

1.2.2 Biomechanik des Kniegelenks

Biomechanisch zeichnet das Kniegelenk eine kombinierte Roll-Gleit-Bewegung aus. Es hat nach Neutral-Null-Methode ein aktives Bewegungsausmaß von ca. 5°/0°/145°, welches passiv teilweise in eine Hyperextension von 5° bis 10° und Flexion von bis zu 160° gebracht werden kann (Jagodzinski et al. 2016, Strobel und Zantop 2014). Der M. quadriceps ist für die Extension zuständig, während die ischocrurale Muskulatur zusammen mit den dorsalen Unterschenkelmuskeln M. gastrocnemius und M. plantaris das Knie flektieren. Eine Innenrotation von 10° (M. semimembranosus, M. semitendinosus, M. sartorius, M. popliteus und M. gracilis) und die Außenrotation bis zu 30° (vor allem M. biceps femoris) finden nur in Flexionstellung des Gelenkes statt (Benninghoff und Drenckhahn 2008). Die letzte Rotationsbewegung ist eine nach außen gerichtete, durch das bei Streckung auf Zug gebrachte vordere Kreuzband, entstehende Bewegung. Sie wird als Schlußrotation bezeichnet. Voll gestreckt stabilisieren Kapsel- und Kollateralbänder das Knie vor Rotation (Benninghoff und Drenckhahn 2008). Bei Extension schlägt das vordere Kreuzband knöchern in einem Areal zwischen den Femurkondylen, der sog. *Notch* (Jagodzinski et al. 2016), an (physiologisches Impingement). Das posterolaterale Bündel ist bei Extension maximal gespannt. Bei Flexion liegt es mit weniger Zug in der Fossa intercondylaris, während das anteromediale Bündel gespannt ist (Cabaud 1984). Das anteromediale Bündel verhindert eine Translation und ist bei Insuffizienz durch einen positiven Lachman-Test zu erkennen (Jagodzinski et al. 2016, Strobel und Zantop 2014). Das posterolaterale Bündel verhindert eine rotatorische Instabilität. Der Pivot-Shift-Test erkennt indes eine solche Instabiliät (Jagodzinski et al. 2016, Petersen et al. 2007, Strobel und Zantop 2014).

1.3 Pathophysiologie

1.3.1 Torsionstrauma des Kniegelenkes

Das Verdrehtrauma des Kniegelenkes, oder auch Torsionstrauma genannt, beschriebt eine übermäßige Rotation des Kniegelenkes nach Innen oder Außen. Durch dieses traumatische Muster können unter anderem Bandläsionen entstehen. Bei genügend großer Krafteinwirkung sind vor allem die Kreuzbänder rupturgefährdet.

1.3.2 Pathomechanismus der VKB-Ruptur

Wie bereits in 1.1.2 erwähnt ist eine bestimmte Kombination von Bewegungsmustern des Kniegelenks gefährdend für eine VKB-Verletzung. Im Wesentlichen ist dieses eine Flexion-Valgus-(Innen-)Rotation im Rahmen des Landevorgangs (Jagodzinski et al. 2016, Petersen et al. 2005). Boden et al. (2010) erklären zudem die Faktoren der mäßigen Plantarflexion des Fußes, nahe an der flachen Fußstellung, und zusätzlich gesteigerten Flexion in der Hüfte mit einer plötzlich axial einwirkenden Kraft (z. B. einer Landung) als wichtig in der Genese der vorderen Kreuzbandruptur (Boden et al. 2010). Andere Studien zeigen ähnliche Bewegungsabläufe auf (Leppänen et al. 2017). Ein zweiter Mechanismus, der zur Ruptur führt, ist die Hyperextension des Knies mit zusätzlicher Innenrotation. Hierbei rupturiert das VKB über der von Grant beschriebenen *Notch* zwischen dem medialen und lateralen Condylus femoris. Die Auflagefläche dieses interkondylären Areals fungiert in diesem Falle als Hypomochlion (Estes et al. 2015, Jagodzinski et al. 2016). Ein solcher Bewegungsablauf kann potenziell eine Ruptur des hinteren Kreuzbandes entstehen lassen (ventrales Anpralltrauma).

Auch im flektierten Zustand des Kniegelenks kann das VKB reißen. Entscheidend ist die Bremswirkung des zum Kreuzband antagonistisch wirkenden M. quadriceps, der seine Kraft über die Patellarsehne weitergibt und somit die Tibia nach vorne zieht. Zeitgleich entsteht durch die Quadrizepskontraktion ein Schub des Femurs nach hinten, sodass sich die Spannung auf das VKB massiv erhöht (Jagodzinski et al. 2016, Kennedy et al. 1976, Palmer 2007).

Ein vorderer Kreuzbandriss erhöht die Wahrscheinlich für einen Meniskus- oder Knorpelschaden (Jagodzinski et al. 2016, Sanders et al. 2016). Eine zeitnahe und anatomische VKB-Plastik schützt nachgewiesen vor fortschreitenden Meniskusläsionen (Sanders et al. 2016; Frobell et al. 2010).

Wird das anteromediale Bündel des VKB insuffizient oder geschädigt, so ist eine Translationsinstabilität zu erkennen. Das posterolaterale Bündel geht bei einem Schaden im Wesentlichen mit einer rotatorischen Instabilität einher, die sich typischerweise als Giving-Way-Phänomen bei den Patienten zu erkennen gibt (Houck und Yack 2001).

1.4 Therapie der vorderen Kreuzbandruptur

Für die Therapie einer Ruptur des vorderen Kreuzbands stehen neben den oft kritisch betrachteten konservativen Methoden vor allem die operativen Optionen mittels Bandersatz im Vordergrund. Diese stellen heutzutage den absoluten Goldstandard dar.

1.4.1 Operative Therapiemöglichkeiten

Die operative Versorgung einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes durch eine VKB-Plastik steht beim aktiven und/oder jungen Patienten fast ausschließlich im Vordergrund der Therapie. Vorteile der operativen Behandlung sind die Verbesserung der objektiven und subjektiven Stabilität, der Schutz vor sekundären Knorpel- oder Meniskusläsionen (Becker et al. 2002; Hoffelner et al. 2012; Jomha et al. 1999; Lobenhoffer und Tscherne 1993) und damit verbunden eine Risikominimierung arthrotischer Veränderungen, welche jedoch nicht zwingend durch eine VKB-Rekonstruktion vorgebeugt werden können (Fithian et al. 2005). Letzteres Argument ist jedoch in der aktuellen Studienlage nicht eindeutig belegt (Fink et al. 1996; Petersen und Tillmann 2002; Strand et al. 2005; Krause et al. 2018) Vereinzelnde Studien zeigen dennoch, besonders im Langzeit-*Follow-Up*, dass eine nicht operative versorgte VKB-Ruptur später zur Gonarthrose führen kann. Sanders et. al. stellten ein solches Ergebnis in ihrer Studie 2016 nach 13,7 Jahren heraus (Sanders et al. 2016). Barenius et al. (2014) berichten z.B. über eine dreifach gesteigerte Osteoarthroseprävalenz trotz VKB-Plastik im Vergleich zum kontralateralen gesunden Knie. Entgegen dieser Studien bleibt die Reduktion posttraumatischer Arthrosen des Kniegelenks durch VKB-Plastik als Konsens der Lehrmeinungen bestehen.

Bei der Indikationsstellung zur OP sind folgende Punkte zu beachten:

Allen voran sind die subjektive Empfindung von Instabilität nach einer Ruptur, zum Beispiel durch eine *Giving-away* Symptomatik, zusammen mit der objektiven klinischen Befunderhebung (Lachman-Test, Pivot-Shift-Test) in der OP-Indikation leitend (Agneskirchner et al. 2002; Strobel und Zantop 2014; Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Eine Seitendifferenz im Lachman-Test wird in einigen Studien als Indikator zur Rekonstruktion angegeben (Andersson und Gillquist 1992; Caraffa et al. 1996; Grøntvedt et al. 1996). Sind sowohl Lachman-Test, als auch Pivot-Shift-Test positiv, sollte die Operation nach aktuellen Erkenntnissen empfohlen werden (Strobel und Zantop 2014).

Unter der Prämisse der Vermeidung von Folgeschäden aufgrund einer latenten oder symptomatischen VKB-Instabilität, wird die Indikation zur Rekonstruktion beim biologischen jungen und aktiven Patienten eher großzügig gestellt. (Sanders u. a. 2016; Krause u. a. 2018).

Die komplexere Verletzung des vorderen Kreuzbandes mit symptomatischer Beteiligung von anderen Binnenstrukturen, wie der nahtfähigen (Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018) Menisken und/oder Kollateralbänder, stellen genauso eine Indikation zur Operation dar.

Eine chronische Neigung zu Ergüssen nach dem Trauma oder die begleitende Instabilität bei (bekannter) Arthrose (Agneskirchner et al. 2002; Hillard-Sembell et al. 1996; Strobel und Zantop 2014; Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018).

Des Weiteren sind chirurgische Interventionen bei bestimmten Patientengruppen indiziert. Zu diesen gehören Kinder- und Jugendliche sowie Berufs- und Hochleistungssportler, aber auch Patienten, die in ihrem Beruf auf eine adäquate Stabilität der Kniegelenke angewiesen sind (Strobel und Zantop 2014; Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018)

Aus den genannten Punkten ergibt sich, dass in nur wenigen Ausnahmefällen ein konservativer Therapieansatz zu erwägen ist. Die operative Kreuzbandversorgung ist das zentrale Element der Therapie.

Die Wahl des Operationszeitpunktes ist unter Berücksichtigung des Kniezustands zu bestimmen. Reizlosigkeit in Bezug auf Schmerz und Schwellung bei guter Beweglichkeit sind unbedingt anzustreben. Unmittelbar nach dem Trauma durchgeführte VKB-Plastiken haben oft ein schlechteres *Outcome* als die zeitversetzte Operation und sind nur in Ausnahmefällen z.B. bei Profisportlern anzustreben (Herbst et al. 2016; Strobel und Zantop 2014). Dass nach chirurgischer Intervention innerhalb der inflammatorischen Phase, d.h. direkt nach dem Trauma, eine stärkere Neigung zu arthrofibrotischen Veränderungen im Kniegelenk zu verzeichnen sein kann (Mayr et al. 2004), hat sich in neueren Studien nicht mehr reproduzieren lassen. So wird der Zeitpunkt von 6-10 Wochen nach Verletzung zwar weiterhin als gut angesehen, um operativ zu intervenieren (Rupp und Kohn 2002; Swirtun et al. 2006; Strobel und Zantop 2014). Ein noch früherer Zeitpunkt, z.B. innerhalb der ersten 8 Tage, zeigt sich jedoch möglicherweise nicht von Nachteil, da abweichend von früherer Studien keine negativen Folgen in Bezug auf Bewegungsausmaß und Versteifungen bzw. Bewegungslimitierungen zu erwarten sind (Eriksson et al. 2018)

1.4.2 Grundlage der vorderen Kreuzbandplastik

Der Ersatz des gerissenen Kreuzbandes mit autologem Sehnenmaterial stellt heutzutage den Goldstandard der operativen VKB-Rekonstruktion in Europa dar, nachdem einige Langzeitstudien hohe Versagensraten und schlechte Ergebnisse für eine Kreuzbandnaht zeigten (Becker et al. 2002; Eberhardt et al. 2002; Fink et al. 1996; Grøntvedt et al. 1996; Seiler und Frank 1993; Kaplan et al. 1990). Erneutes Ausreißen der Naht und damit verbundene Re-Rupturen, sowie das bei der Naht entstehende Narbengewebe, welches zu einer wiederkehrenden Instabilität im Kniegelenk führen kann, sind Ursachen für das Versagen der Naht (Barrack et al. 1984; Goldblatt et al. 2005; Lowe et al. 2017).

Nachdem in den 1960/70er Jahren die Entwicklung der autologen VKB-Plastiken voranschritt, kamen in den 1980er Jahren zunehmend Kunstbänder zur Rekonstruktion auf den Markt, welche jedoch bald wieder aufgrund des schlechten *Outcome*s verlassen und nur in Ausnahmefällen angewandt wurden (Strobel und Zantop 2014). Bei den autologen Sehnen zur vorderen Kreuzbandplastik wurden vor allem Patellarsehnen- mit Semitendinousus- und. Gracilissehen verglichen. Lange Zeit galt die Patellarsehne (BTB-Graft) als Material des Goldstandards, da sie eine signifikant geringere Versagensrate und hohe Stabilität mit geringer Seit-zu-Seit-Differenz versprach (Park et al. 2014). Heutzutage bestätigen Studien wieder eine verstärkte Präferenz für die Nutzung der Semitendinos- und ggf. Gracilissehne (Hamstring-Graft), da Fixations- und Operationstechniken verbessert wurden (Biau et al. 2006; Keays et al. 2007; Pinczewski et al. 2007; Strobel und Zantop 2014) und die anatomische Bohrkanalplatzierung stärker in den Fokus rückt (Strobel und Zantop 2014).

1.4.2.1 Das Semitendinosus-/Gracilissehnentransplantat (*Hamstring-Graft*)

Der *Hamstring-Graft* (STG) besteht in erster Linie aus der Semitendinosussehne (ST-Sehne), die teilweise, bei unzureichender Länge oder Stärke, mit der Gracilissehne (GT-Sehne) kombiniert werden kann (Inagaki et al. 2013; Strobel und Zantop 2014). Nach aktuellem Stand stellt dieser Graft, vor allem die ST-Sehne, das primär bevorzugte Transplantat dar, da es u.a. wenig Entnahmemorbidität provoziert, die sich jedoch im Falle der Mitnahme der GT-Sehne etwas erhöht (Gobbi et al. 2005; Inagaki et al. 2013; Keays et al. 2007; Papastergiou et al. 2006; Segawa et al. 2002; Wagner et al. 2005; Yasuda et al. 1995). Zudem sind die Aspekte des operativen Managements (Entnahmezeit, Hautinzision, variable Transplantatlänge und -durchmesser, Transplantateinzug), das Elastizitätsmodul (als 3er oder 4er Strang), die hohe Reißfestigkeit (maximale Versagenslast bis zu 100% mehr als natives Kreuzband) und die Schonung des femoropatellaren Komplexes (Biau et al. 2006) Vorteile des STG (Strobel und Zantop 2014). Bei Kindern- und Jugendlichen ist die Verwendung trotz offener Wachstumsfugen möglich (Strobel und Zantop 2014). Nachteilig werden die Präparation des Transplantates, sowie muskuläre Schwächungen gesehen. So ist der VKB-Agonismus und die Flexionskraft des Knies mindestens initial vermindert (Armour et al. 2004; Gobbi et al. 2005; Strobel und Zantop 2014). Außerdem sind die Fixationsanforderungen erhöht und damit teilweise das Einheilen und die Stabilität schwieriger als z. B. bei der Patellarsehne (Freedman et al. 2003). Selten kommt es zum Riss des restlichen Muskels durch Hyperextension bei Hüftflexion und Knieextension (Strobel und Zantop 2014). Eine Kontraindikation dieses Transplantates stellt die mediale Instabilität bei u.a. valgischen Sportarten dar. Ebenso Anteromediale Vernarbungen im Tibiakopfbereich und Beugesehnenkontakturen (Strobel und Zantop 2014).

1.4.2.2 Das Patellarsehnentransplantat (*Bone-Tendon-Bone*)

Das Patellarsehnentransplantat wird üblicherweise mit Knochenblöcken an beiden Enden verwendet. Dieses Transplantat ist am Anfang der Historie der VKB-Plastik häufig verwendet worden (Paulos et al. 1983). In den USA war es im Jahre 2006 laut Duquin et al. (2009) mit 46% immer noch das meist verwendete Transplantat. Auch andere Studien heben diese US-amerikanische Präferenz zum *BTB-Graft* hervor (Farber et al. 2014). Dieser Aspekt stellt einen Unterschied zur europäischen Graftwahl, welche die Semitendinosussehne bevorzugen, dar. Teilweise wird der Patellarsehne mit ihren Knochenblöcken eine bessere Augmentation, also Optimierung der Gelenkfläche und damit besseres Einheilen in den Knochen vorhergesagt (Freedman et al. 2003; Grøntvedt und Engebretsen 1995). Aufgrund des größeren Operationstraumas ist dieses jedoch ambivalent zu sehen.

Einige Kontraindikationen für eine Kreuzbandplastik durch Patellarsehentransplantat, wie ein kniender Beruf oder verschiedene Vorerkrankungen der Patella (Patellararthrosen, Z.n. Patellafraktur, Morbus Osgood-Schlatter u.a.) grenzen das Patientenkollektiv für diesen Graft ein (Strobel und Zantop 2014). All jene Erkrankungen können vermehrt den Symptomkomplex des vorderen Knieschmerzes entwickeln. Dazu kommt, dass eine hohe Entnahmemorbidität durch die Mitnahme des Knochenblocks im mittleren Drittel der Patellasehne, d.h. aus der Patella und der Tuberositas tibiae, nahezu unumgänglich ist (Duquin et al. 2009; Freedman et al. 2003; Kartus et al. 2001; Lysholm et al. 1984; Miller et al. 1999; Paulos et al. 1983; Peterson et al. 2001; Samuelsson et al. 2009, Harris et al. 2015; Papastergiou et al. 2006; Pinczewski et al. 2007; Tashiro et al. 2003).

Wiegt man die Vor- und Nachteile des BTB gegeneinander ab, so überwiegen nach aktueller Studienlage die Nachteile (Strobel und Zantop 2014; Biau et al. 2006; Chang et al. 2003; Goldblatt et al. 2005; Kartus et al. 2001; Miller et.al. 1999). Auf der propriozeptiven Ebene ergibt der Vergleich zwischen BTB und STG keinen postoperativen, signifikanten Unterschied (Angoules et al. 2011).

1.4.2.3 Das Quadrizepssehnentransplantat

Zu den weniger häufig verwendeten autologen Transplantaten zählt die Quadrizepssehne, die vor allem bei Revisionseingriffen eingesetzt wird und auch als Primärtransplantat mit oder ohne Knochenblock Verwendung findet (Chen et al. 2006; Gorschewsky et al. 2007; Lee et al. 2004; Stäubli et al. 1996). Die Entnahmemorbiditätsrate liegt zwischen der des BTB und der *Hamstring-Grafts*, wird dabei als erhöht angesehen und deshalb bei der Graftwahl besonders bedacht (DeAngelis und Fulkerson 2007; Gorschewsky et al. 2007; Lephart et al. 1993; Reinhardt et al.

2010). Ein großer Vorteil, auch in Anbetracht der VKB-Revisionen, ist das Transplantatvolumen der Quadrizepssehne. So ist der Querschnitt, wie auch die Länge der Sehne, optimal zur Rekonstruktion der Kreuzbänder (Stäubli et al. 1996). Dem gegenüber stehen jedoch diverse Nachteile, die größtenteils der Morbidität der Sehenentnahme geschuldet sind. Hierzu zählen u.a. Veränderungen am M. quadrizeps selbst (Atrophie, Sehnenruptur) und Morbiditäten des femoropatellaren Komplexes (Gorschewsky et al. 2007; Reinhardt et al. 2010; Strobel und Zantop 2014). Dennoch hat die Quadrizepssehne den Status des Reservetransplantats, sobald kein anderer Graft zu gewinnen ist. In diesem Fall bleibt sie eine adäquate Alternative.

1.4.2.4 Allogene Sehnentransplantate und Kunstbänder und Kunstbänder

Fremdes Kreuzbandmaterial (Leichenspende oder künstliches Material) ist nur in Ausnahmefällen indiziert und stellt heutzutage eine randständige Alternative zur VKB-Plastik dar (Harner et al. 1996; Jackson et al. 1990; Kustos et al. 2004). Falls autologes Sehnenmaterial aufgrund von vorangegangenen Mehrfachrevisionen oder gravierenden, teils systemischen Vorerkrankungen des Patienten (muskuläre oder neuromuskuläre Erkrankungen, Kreuzbandaplasien etc.) unzugänglich bzw. nicht verwendbar sind, ist ein Versuch mittels Alloplastik oder Kunstbandversorgung aus „Nylon, Dacron, Teflon, Trevira oder Goretex“ (Strobel und Zantop 2014) vorzuziehen (Poehling et al. 2005; Shelbourne et al. 1991). Logischerweise entsteht bei dieser Art der Rekonstruktion keine Entnahmemorbidität. Auch die Rehabilitation nach Kunstbandimplantation ist wesentlich eher möglich anzustreben, da anders als beim autologen Material, kein Einwachsen der Bänder erwartet wird (Shelton et al. 1997; Strobel und Zantop 2014). Andererseits ist ein allogenes oder künstliches Band in der biokompatiblen und biophysikalischen Struktur deutlich nachteiliger, sodass Re-Rupturen mit u. U. schweren Verläufen und Infektionen durch das Kunstmaterial drohen (Strobel und Zantop 2014). Bei der Allograftversorgung ist sogar die Abstoßung mit heftiger Immunreaktion möglich (Park et al. 2014).

In der propriozeptiven Beurteilung eines Allograft im Vergleich zum autologen Transplantat, sind in der späteren Phase keine signifikanten Unterschiede zu erkennen (Ozenci et al. 2007). In der frühfunktionellen Phase schneidet das autologe Material jedoch im prospektiven Vergleich besser ab als das Allograft (Xie et al. 2011).

Allografts durch Leichenspende sind im europäischen Raum eher unüblich und stellen daher selten eine gute Option dar. Es handelt sich hierbei vor allem um juristische Hürden zur Nutzung dieser Grafts. In den Vereinigten Staaten stellen die Leichnam-Allografts jedoch eine übliche Option zum VKB-Ersatz dar.

1.4.3 Konservative Therapiemöglichkeiten

Die konservative Therapie der vorderen Kreuzbandruptur unterliegt einer gesonderten Indikationsstellung. Entscheidend sind die individuellen OP-Risiken, fehlende postoperative Compliance oder ein klares Ablehnen von Operationen. Klinisch gesehen können eine minimale Instabilität bei sonst physiologischem Lachman- und Pivot-Shift-Test oder eine Partialruptur ohne subjektive Instabilität die Indikation zum konservativen Therapieversuch unterstützen (Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018, Strobel und Zantop 2014). Ein weiterer Grund ist die subjektive Angst vor Operation oder Schmerz nach der OP (Baverel et al. 2016). Im Besonderen sind persönliche Aktivitätsniveau, Ansprüche, Lebensalter, weitergeführte kniebelastende Sportarten oder die allgemeine Ambition zur Belastung der Knie in Sport und Beruf Indikationshilfen zur Rekonstruktion. Das höhere Alter ist keine absolute Kontraindiktion zur operativen Therapie (Fink et al. 2001, Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Zusammenfassend sticht jedoch heraus, dass vor allem das Alter und insbesondere das Aktivitätsniveau der Patienten grundlegende Entscheidungshilfen zur operativen bzw. konservativen Therapie sind. Junge Patienten sollten auch unabhängig vom Aktivitätsniveau großzügig eine operative Versorgung des rupturierten Kreuzbandes erhalten. Dieses begründet sich vor allem im der protektiven Reduktion von Folgeschäden (Kay et al. 2018; Sanders et al. 2016; Strehl und Eggli 2007). Selten zeigen Studien Vorteile der konservativen Therapie, z. B. im frühfunktionellen Gangbild ohne Defizite von Flexion und Extension (Schmalz et al. 1998; Wellsandt et al. 2016).

Falls zu Beginn der konservativen Therapie eine Immobilisation mittels Schienenbehandlung und Teilbelastung vollzogen werden, sollten diese zeitnah aufgehoben werden. Diese in der Regel rein subjektive Therapie zur Verbesserung der gefühlten Instabilität des Patienten, spielt im Rahmen der konservativen Therapie jedoch eine mittlerweile fragliche Rolle. Bei einer klinisch zutage tretenden *Bone-Bruise* Verletzung, welche im MRT diagnostizierbar ist, sollte eine Stoßbelastung für vier Wochen unterbleiben (Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Kryotherapie ist für die Phase nach dem Trauma indiziert (Andersson u. a. 1989, Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Als nachhaltigstes Mittel gilt es jedoch Muskeltraining für die Beuge- und Streckseiten, sowie Übungen in der „geschlossenen Kette“ (u .a. Beinpresse) zu beginnen, sobald die Schmerzen es zulassen (Andersson et al. 1989; Hatton et al. 2017). Durch ein Training der ischiokruralen Muskulatur und des M. quadrizeps kann das subjektive Stabilitätsgefühl verbessert werden. Dennoch stellt sich bei ungenügender Trainingsintensität und -regelmäßigkeit oftmals erneut ein Instabilitätsgefühl ein (Strobel und Zantop 2014) und auch intensives „Muskeltraining kann die möglichen pathomechanischen Folgen der VKB-Ruptur nicht verhindern“ [Strobel und Zantop 2014]. Radfahren und Schwimmen mit Kraulbeinschlag sind weitere angestrebte Ziele in

der Aktivität und somit in der konservativen Therapie (Andersson et al. 1989; Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Propriozeptives Training zur Verbesserung der „neuromuskulären Schutzfunktion“ [Strobel und Zantop 2014] sollte ebenfalls bedacht werden, da auch durch diese Übungsform die subjektive Instabilität verbessert werden kann (Strobel und Zantop 2014).

Für Patienten, die ein hohes Sportlevel (Level-1-Sportarten (Strobel und Zantop 2014), z. B. Ballsportarten mit *Stop-and-Go*-Aktivität; *Pivoting Sports*) nach ihrer VKB-Ruptur meiden, ist die konservative Therapie mit einem funktionell gutem Ergebnis möglich (Casteleyn und Handelberg 1996) und bei entsprechender Kontraindikation zur operativen Versorgung der Läsion eine Alternative. Ohne diese Aktivitätsreduktion erhöht sich signifikant das Risiko und die Inzidenz von Knorpel- und Meniskusschäden innerhalb der konservativen Therapie (Yüksel et al. 2006).

1.5 Rehabilitation nach chirurgischer vorderer Kreuzbandplastik

1.5.1 Rehabilitationsstrategien und etablierte Messverfahren

Große Uneinigkeit herrscht in der Fragestellung der optimalen Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik. Wenn auch die postoperative Körpergewichtsadaptation oder die Verwendung bzw. der Zeitraum zur Nutzung von Unterarmgehstützen keinen klaren wissenschaftlichen Stand haben, wird vor allem die Nutzung bewegungslimitierender Orthesen, Stützbänder (*Braces*), oder Manschetten (*Sleeves*) nach der vorderen Kreuzbandplastik diskutiert. Ob eine rehabilitative Schienentherapie nach VKB-Plastik einen Vorteil gegenüber der freien Beweglichkeit hat, ist nach aktuellen Studienaussagen in Metaanalysen sowohl in den anerkannten Scores, als auch in Tests zur Stabilität oder Propriozeption nicht klar zu beantworten (Birmingham et al. 2008; Brandsson et al. 2001; Kessler et al. 2008; Kruse et al. 2012; Mariani et al. 2013; Mayr et al. 2014; McDevitt et al. 2004; Mihelic et al. 2011; Pezzullo und Fadale 2010). Eine 2018 durchgeführte Onlineumfrage stellte heraus, dass 82% von 218 befragten Knieoperateuren in Deutschland eine Orthese nach VKB-Plastik weiterhin empfiehlt (Valle et al. 2018).

Als wichtiges Maß des postoperativen *Outcomes* gilt das subjektive Stabilitätsempfinden, sowie die objektiv messbare Translationsstabilität. Ersteres wird durch Fragekataloge anerkannter Fachgesellschaften evaluiert, in denen durch Punktesysteme Alltags- sowie Sporterleben bezogen auf die Stabilität und auch Funktionalität ermittelt werden. Diese können dann verglichen werden. Als objektive Methode der Stabilitätsmessung, vor allem der anterioren-posterioren Translation bei vorderer Kreuzbandruptur, dienen arthrometrische Messungen wie der KT-1000™ (Birmingham et al. 2008; Brandsson et al. 2001; Mayr et al. 2014; Melegati et al. 2003). Diese sind wissenschaftlich als adäquate Möglichkeit zur Messung der Stabilität, korrelierend zum

Lachman-Test oder des subjektiven Stabilitätsempfindens anerkannt (Bonnaire et al. 1995; Wroble et al. 1990). Neben dem KT-1000™-Arthrometer als Gerät erster Stunde, ist heute die Entwicklung der Arthrometrien vorangeschritten und neuere Geräte wie u. a. das in dieser Studie verwendete Rotab-Arthrometer der Firma Genourob® (GNRB®) sind noch genauer und werden deshalb zur Nutzung der Laxizitätsmessung empfohlen (Jenny et al. 2017; Paine et al. 2012).

Einen großen Anteil vieler Studien, die sich mit dem Zustand nach vorderer Kreuzbandplastik und teilweise mit dem Thema des Stellenwertes von Orthesen nach Operationen oder zur Prophylaxe von Verletzungen beschäftigen, nimmt die Analyse und Evaluation tiefensensorischer Funktionen (Propriozeption) und der posturalen Kontrolle aller Strukturen rund um das Kniegelenk ein (Barrack et al. 1984; Birmingham et al. 2001; Henriksson et al. 2001; Risberg et al. 1999; Sugimoto et al. 2016; Xie et al. 2011; Zouita Ben Moussa et al. 2009 etc.) Je besser diese Funktionen sind, desto eher wird eine vollständige Rehabilitation erwartet und desto früher kann der Patient in Beruf und Sportaktivität zurückkehren (*Outcome* (Fremerey et al. 2000)), was wiederum eine finanzielle Kosteneinsparung mit sich bringen könnte. Zudem dient eine gute Propriozeption, also die Fähigkeit zur Wahrnehmung der eigenen Gelenkstellung, und die posturale Kontrolle, als Beispiel die muskuläre Koordination und Stärke, der effizienten Prävention von primären Verletzungen oder Re-Traumata (Barrack et al. 1984; Caraffa et al. 1996; Garrison et al. 2015; Henriksson et al. 2001; Mattacola et al. 2002; Palm et al. 2012; Perlau et al. 1995; Risberg et al. 1999). Die Verletzung des Kreuzbandes verändert die Kinematik des Kniegelenkes durch Verlagerung der Gelenkflächen von Femur und Tibia bei Flexion und Extension, sowie die Muskelaktivität und Spannung des Bandapparates (Agneskirchner et al. 2002; Barrack et al. 1989; Beynnon et al. 1999; Duthon et al. 2006). Damit verbunden wird eine propriozeptive Dysbalance gefördert, welche auch nach Intervention fraglich wiederherstellbar ist. Um diese Dysbalancen aufzuzeigen, stehen einige Tests zur Evaluation der Propriozeption des Kniegelenkes, die in der Literatur immer wieder auf den Prüfstand gebracht werden, zur Verfügung. Zu diesen Verfahren zählen unter anderem Versuche, welche einen Schwellenwert messen, an dem eine passive Gelenkbewegung kognitiv wahrgenommen wird (*threshold to detect passive motion, TTDPM*) (Boerboom et al. 2008; Fischer-Rasmussen und Jensen 2000) oder eine passive Wiedereinstellung des Gelenkes in eine geforderte Position durchgeführt wird (*passive-re-positioning, PRP*). Am häufigsten wird jedoch die Wahrnehmung der Gelenkposition, auch *joint-position-sense* (*JPS*) genannt (Beynnon et al. 1999; Birmingham et al. 2001; Carter et al. 1997; Harter et al. 1988; Mir et al. 2008; Perlau et al. 1995; Skinner et al. 1984) quantifiziert, da sie die Definition der Propriozeption als solche ist (Bewusstsein dafür, eine Gelenkstellung im Raum durch das zentrale Nervensystem wahrzunehmen; Swash 1986). Im Fokus steht hierbei die

Wahrnehmung des Probanden über eine bestimmte Stellung des zu untersuchenden Gelenkes. In Bezug auf das Kniegelenk kann dieses z. B. der Winkel in Grad (°) bei der Flexion sein. Das bedeutet, dass ein bestimmter Flexionswinkel gefordert wird, welchen der Proband aktiv einnehmen soll. Danach wird die eingestellte Flexion überprüft und mit dem geforderten Wert verglichen. Dieser Test ist mit einem handelsüblichen Goniometer möglich und wird auch in der hier vorliegenden Studie durchgeführt. Mittels technischer Geräte (z. B. kinematischer Dynamometrie oder Isometrie) kann neben der aktiven auch die passive Einnahme einer bestimmten Gelenkstellung aufgezeichnet werden.

Eine weitere Methode um Tiefensensibilität bzw. Standkontrolle der unteren Extremität zu erproben stellen verschiedene Balancierversuche dar (Birmingham et al. 2001; Bonfim et al. 2003; Furlanetto et al. 2016; Harrison et al. 1994; Mattacola et al. 2002; Zouita Ben Moussa et al. 2009).

Jerosch et al. zeigten bezüglich der Fragestellung 1997, dass es Unterschiede in der Wahrnehmung der Kniegelenksposition zwischen Probanden mit einem gerissenen vorderen Kreuzband, gesunden Kontrollindividuen und einer Gruppe VKB-Verletzter mit elastischen Kniebandagen gibt. Carter et al. (1997) konnten diese Ergebnisse im Rahmen ihrer Studie bestätigen. Sie verglichen die kontralaterale, nicht betroffene Kniegelenksseite mit der durch vorderer Kreuzbandruptur defizienten Seite von Patienten und beobachteten auch hier einen signifikanten Unterschied der Wahrnehmung der Gelenkstellungen (*joint-position-sense*, JPS) zugunsten der gesunden Kniegelenke. Eine weitere Studie (Cossich et al. 2014) zeigte ebenfalls eine propriozeptive Verschlechterung bei rupturiertem, vorderen Kreuzband auf. In Verbindung mit dem anatomischen und physiologischen Wissen zu Aufbau und Funktion des Kniegelenkes muss angenommen werden, dass das vordere Kreuzband eine Schlüsselstellung in der Tiefensensorik des Kniegelenkes hat. Postuliert werden muss demnach die Frage ob die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes diesen Verlust wiederherstellen kann. Eine weitere wichtige Funktion, die in einem intakten Gelenk im Zusammenspiel der festen Grundstrukturen, also Knochen und Bändern sowie Muskeln, funktionsfähig sein sollte ist die Kontrolle der Körper- bzw. Gelenkhaltung. Diese, als posturale Eigenschaften bezeichneten Funktionen, wurden bereits in verschiedenen Studien untersucht und quantifiziert. Allen voran sind es Verfahren zur Evaluation der Balancefähigkeit, welche die posturale Kontrolle quantifizieren können (Alonso et al. 2009; Birmingham et al. 2001; Bonfim et al. 2003; Garrison et al. 2015; Henriksson et al. 2001; Howells et al. 2011; Mattacola et al. 2002; Zouita Ben Moussa et al. 2009). Bei diesen Tests werden verschiedene Settings voneinander unterschieden. So wird primär eine Unterscheidung in statische und dynamische Testverfahren vorgenommen. Bei den statischen Versuchen gibt es keine gezielte, externe Manipulation des Balancierversuches. Der Proband versucht demnach eine Körper- bzw. Gelenkposition statisch aufrecht zu erhalten.

Abweichungen dieser statischen Haltung beenden dann den Versuch. Diese Versuche zeigen die Fähigkeit eine grundlegende Körperhaltung beizubehalten, also die posturale Kontrolle ohne externe Störfaktoren zu wahren und sind dabei reproduzierbar und objektiv (Nordahl et al. 2000). In den Studien sind es vor allem Stehversuche auf einer stabilen Plattform (Bonfim et al. 2003; Harrison et al. 1994; Henriksson et al. 2001; Howells et al. 2011). Hierbei können Abweichungen der Fußposition, beispielsweise auf einer Markierung, gemessen werden (*food-position-test*), oder Druckabweichungen des Fußes im Stand auf einer Messplatte (*center of pressure displacement*) erkannt werden (Birmingham et al. 2001; Bonfim et al. 2003; Harrison et al. 1994; Henriksson et al. 2001; Rougier et al. 2012; Zouita Ben Moussa et al. 2009). Dem gegenüber sind dynamische Verfahren gekennzeichnet durch eine zunächst statische Haltung, welche von außen mit gezielten Störungen und Reizen beeinflusst wird (Alonso et al. 2009; Denti et al. 2000; Mattacola et al. 2002; Rudolph et al. 2001; Rudolph et al. 2000). Auch hier werden Abweichungen aus der Haltung heraus gemessen. Dem Verfahren dieser Messungen dienen instabile Plattformen, Therapiekreisel, *Balanceboards* oder Gelkissen, welche einen sich verändernden, instabilen Untergrund simulieren. Aufwändigere Versuche werden in manchen Studien mit speziellen Messgeräten durchgeführt (z.B. *KAT-2000*). Im Mittelpunkt dieser dynamischen Balancierversuche steht die Fähigkeit des körpereigenen Ausgleichs von Störbewegungen als Indikator für posturale Standkontrolle. Statische und dynamische Balancetests können in verschiedenen Settings als *double-leg-stance* (DLS) oder *single-leg-stance* (SLS) bzw. mit geöffneten (*eyes-open,* EO*)* oder geschlossenen Augen (*eyes-closed,* EC) durchgeführt werden.

1.5.2 Postoperative Bewegungseinschränkung via Orthesenversorgung

Eine postoperative Orthesen- oder Schienentherapie wird unter der Prämisse durchgeführt durch Bewegungslimitierung und externen Schutz vor Translation, Rotation und Adduktion das vordere Kreuzbandtransplantat sowie dessen Verankerung in den Knochen an der femoralen und tibialen Gelenkfläche zu schützen (Beynnon et al. 2003; Beynnon et al. 2002; Birmingham et al. 2008; Brand et al. 2017; Fleming et al. 2000). Das Tragen einer solchen Orthese oder Schiene ist im Allgemeinen für den Zeitraum von etwa 4-6 Wochen vorgesehen. In dieser Zeit werden der Bewegungsumfang, wie auch die Körpergewichtsbelastung häufig limitiert. Klare Evidenz zum Nutzen der Orthesen, Manschetten oder Bandagen gibt es jedoch nicht. In der Literatur finden sich immer wieder Studien, die gewisse Vor- oder Nachteile einer postoperativen Bewegungslimitierung aufzeigen. Untersucht werden dabei subjektive und objektive Stabilität, Schmerzen, die Funktion, arthrometrische Daten, und Tiefensensibilität sowie ganganalytische Aspekte. Auch die rotatorische Komponente, durch welche oft das VKB-Trauma entsteht wird nach der Rekonstruktion im Hinblick auf den Nutzen einer Orthese untersucht (Giotis et al.

2016). Da es jedoch in den Studien viele Unterschiede im verwendeten Transplantat, vor allem Semitendinosus-/Gracilissehne vs. Patellarsehne, der Operationstechnik und dem betrachteten postoperativen Zeitpunkt gibt, kann der Stellenwert der bewegungslimitierenden Orthesen nicht evidenzbasiert geklärt werden. Einen Vorteil der Orthesen konnten Brandsson et al. (2001, Patellarsehentransplantat mit Interferenzschraubenfixation; Orthese: *DonJoy*) demonstrieren, da bei Orthesentherapie mitunter eine geringere Ausprägung postoperativer Hämatome bzw. allgemeiner Schwellung, sowie postoperativer Schmerzen beobachtet wurde. Stellt man eine Schienentherapie zur Prophylaxe eines Extensionsdefizites aus, konnten Melegati et al. (2003, Patellarsehentransplantat mit Interferenzschraubenfixation; Orthese: Extensionsorthese) zeigen, dass dieses Vorhaben durchaus Vorteile bieten kann. Sie fanden heraus, dass die Extension nach acht Wochen postoperativ bei Patienten mit festgestellter Orthese in Extensionsstellung für eine Woche ab dem Zeitpunkt der Operation zur einer signifikanten besseren Extension im Verlauf führte, verglichen mit einer Kontrollgruppe von Patienten mit konventioneller Orthesentherapie und einer ROM zwischen 0°-90° für die erste postoperative Woche. Einen Einfluss der Orthesen auf die Stabilität einer Kreuzbandplastik (hier gemessen mit dem KT-1000), konnte jedoch nicht gezeigt werden. Einen Schritt weiter gingen Pförringer und Kremer (2005), die in der Versuchsgruppe ihrer Studie die Patienten für die ersten drei Tage nach der Operation mit einer Extensionsorthese versorgten. Diese Studiengruppe erreichte im Intervall nach drei Monaten bessere Extensionswerte, als die Kontrollgruppe mit einer dreitägigen 20°-Flexionseinstellung postoperativ. Im weiteren Verlauf konnten zudem eine schnellere r*eturn-to-work*-Zeit, sowie eine frühere *return-to-sport*-Zeit evaluiert werden. Die Nutzung einer Orthese zur Prophylaxe eines Extensionsdefizites führte allerdings nicht zu einem verbesserten Gesamtoutcome. Faktoren wie Schmerz, Kraft und Propriozeption wurden nicht untersucht. Eine verbesserte *return-to-sport*-Zeit nach Orthesentherapie wurde auch von Strutzenberger et al. (2012) festgestellt. In ihrer prospektiven, randomisierten Studie wurde aufgezeigt, dass *Bracing*, also Schienung, vor einer vorderen Kreuzbandplastik einen Vorteil für die Propriozeption und posturale Kontrolle darstellt. Störungen der Bewegung durch externe Manipulation wurden bei Orthesenträgern effizienter ausgeglichen. Somit kann die Orthese einen Vorteil bei körperlicher Aktivität und verkürzter *return-to-sport*-Zeiten bieten. Funktionelle Unterschiede konnten auch durch Risberg et al. (1999*,* Patellarsehentransplantat, Orthese: *DonJoy Legend*) im *Cincinnati-Score* gefunden werden. Dabei zeigte sich eine bessere Alltagsfunktionalität auf Seiten der Orthesenträgern nach 3 Monaten postoperativ. Jedoch war es zu einer signifikant stärkeren Muskelatrophie der Oberschenkelmuskulatur im Vergleich zur Nicht-Orthesengruppe nach gleicher p. o.-Zeit gekommen.

1.5.3 Postoperative orthesenfreie Beweglichkeit

Bei der postoperativen orthesenfreien Beweglichkeit wird der Patient nach vorderer Kreuzbandplastik ohne Orthese bzw. Schiene rehabilitativ therapiert. Es handelt sich um einen Therapieansatz, der im Gegensatz zur Orthesentherapie, deutlich weniger zum Zuge kommt, obwohl vor allem propriozeptiv positive Effekte erwartet werden können.

Eine Überlegenheit der freien Nachbehandlung ohne Orthese wurde u. a. durch eine Studie von Mayr et al. (2014, Patellarsehnentransplantat mit femoraler und tibialer Titaninterferenzschraubefixation; vorgefertigte Aluminiumorthese) für das Patellarsehnentransplantat herausgestellt, die explizit, signifikant bessere Weite im Ein-Bein-Sprungtest nach vier Jahren feststellen konnten. Zudem hatten die Probanden der Studie ohne *Brace* eine bessere Schmerzsituation bei sportlicher Aktivität und physisch, schwerer Arbeit. Auch Kartus et al. (1997, Patellarsehentransplantat mit Interferenzschraubenfixation; Orthese: *Genu Syncro Quick-lock* S2300) konnten in einer Studie zeigen, dass es keine Vorteile einer Schienenbehandlung nach vorderer Kreuzbandplastik mit Patellarsehnentransplantat gegenüber einer freien Beweglichkeit gibt. Im Speziellen wurden Scores und Stabilitätsmessungen mittels KT-1000 Arthrometrie betrachtet, die analysiert nach zwei Jahren postoperativ zu erkennen gaben, dass es weder Differenzen in der objektiv messbaren Stabilität, noch in der subjektiv einzuschätzenden Funktion der beiden Gruppen mit bzw. ohne Schiene gab. Bessere oder gleiche Effekte auf die Propriozeption bei orthesenfreier Nachbehandlung konnten in mehreren Studien ebenfalls für das BTB-Transplantat aufgezeigt werden. Risberg et al. (1999, Patellarsehnentransplantat; Orthese: *DonJoy Legend*) konnten nach Messung der passiven Beweglichkeit, einer Stabilitätsmessung mit dem KT-1000 Arthrometer, sowie über eine Scoreanalyse von Kniegelenken nach VKB-Plastik mit und ohne Orthese keine signifikante Überlegenheit einer Nachbehandlungsmethode nachweisen. Auch Birmingham et al. (2001, Semitendinosus-/Gracilistransplantat mit Klammerfixation an der Tibia und Endobuttonfixation am Femur; verschiedene Orthesen) betrachteten die Tiefensensorik von Patienten nach der Operation und ließen ihre Studienteilnehmer und -teilnehmerinnen verschiedene Balance-Tests durchführen. Hier konnte keine signifikante Unterscheidung gefunden werden und damit fand sich kein Vorteil einer Orthese. In einer weiteren Studie postulierten Birmingham et al. (2002, Semitendinosus-/Gracilistransplantat mit Klammerfixation an der Tibia und Endobuttonfixation am Femur; verschiedene Orthesen), dass die Fragestellung der rehabilitativen Therapie nach vorderer Kreuzbandplastik nicht „Orthese“ oder „keine-Orthese“ heißen sollte, sondern viel mehr „ist eine Orthese sinnvoll für diesen Patienten?“. Nach Analyse ihrer Daten konnte verdeutlicht werden, dass eine Orthese bei muskulär starken Patienten Vorteile im Sinne einer Hemmung einer negativen Flexionshaltung im Kniegelenk haben kann. Andersherum sind bei

schwächeren Patienten Vorteile ohne Schienenbehandlung zu erkennen, da eine Verbesserung der Kraft ohne Orthese entsteht. Der Einsatz einer Orthese ist demnach individuell zu bestimmen. Wu et al. (2001, Semitendinosussehnentransplantat, Orthese: *DonJoy Legend* und Placeboorthese) lieferten hierzu ein Beispiel: In ihrer prospektiven, randomisierten Studie stellte sich heraus, dass fünf Monate nach vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosussehne ein signifikanter Unterschied in der Sprint- und Richtungsänderungsgeschwindigkeit zugunsten von Patienten ohne Orthese gegenüber den Patienten mit *DonJoy* Orthese bestand. Das Kontroverse hierbei ist eine zweite Versuchsgruppe, die mit einer mechanischen Placeboorthese versorgt wurde. Auch in dieser Gruppe ist die Geschwindigkeit in Sprint und Richtungsänderung langsamer, als bei den orthesenfreien Probanden. Auch die Metaanalysen von Kruse et al. (2012) und Lobb et al. (2012) fanden in ihrer Literaturrecherche keinen adäquaten Benefit einer Schienenbehandlung nach der vorderen Kreuzbandplastik und stellten damit eine vergleichbare Wertigkeit der beiden Alternativen zum postoperativen Rehabilitationskonzept heraus.

1.6 Zielsetzung

Bei Betrachtung der aktuellen wissenschaftlichen Literatur zum Thema „Orthese, Schiene oder *Sleeve* nach VKB-Plastik“ unter Verwendung der Semitendinosus- und ggf. Gracilissehne wird deutlich, dass keine einheitliche Meinung herrscht (Andersson et al. 1989; Casteleyn und Handelberg 1996; Daniel et al. 1994; Di Miceli et al. 2017; Fink et al. 2001; Fink et al. 1993; Howell und Taylor 1996; Lowe et al. 2017; Risberg et al. 1999; Rodríguez-Merchán 2016; Leitlinie vordere Kreuzbandruptur 2018). Beim Großteil der zur Verfügung stehenden Studien zum genannten Thema wurde die Patellarsehne als Transplantat verwendet (Alonso et al. 2009; Brandsson et al. 2001; Harilainen und Sandelin 2006; Henriksson et al. 2001; Kartus et al. 1997; Mattacola et al. 2002; Mayr et al. 2014; Melegati et al. 2003; Muellner et al. 1998; Risberg et al. 1999; Rougier et al. 2012; Zouita Ben Moussa et al. 2009). Hier konnte kein Vorteil der Orthesenversorgung gezeigt werden.

Nur wenige Studien behandelten diese Thematik unter Verwendung der Semitendinosus- bzw. Gracilissehne im Rahmen der vorderen Kreuzbandplastik (Birmingham et al. 2001, 2008), obwohl diese nach aktueller Studienlage bevorzugte Transplantat sein sollten (Armour et al. 2004; Biau et al. 2006; Gobbi et al. 2005; Strobel und Zantop 2014).

Auch die Frage ab, und bis zu, welchem Zeitpunkt möglicherweise Unterschiede erkennbar sind, ist von Interesse.

Untersucht wurden in der hier präsentierten Studie diese Punkte mit Hilfe von etablierten klinischen Scores sowie einer Testbatterie verschiedener Messungen zur Stabilität, Propriozeption und posturaler Standkontrolle.

Fragestellung der vorliegenden Studie war der Einfluss des Einsatzes einer bewegungslimitierenden Orthese nach vorderer Kreuzbandplastik mit autologen *Hamstring*-Transplantaten auf das *Outcome* bis zum dritten postoperativen Monat.

2. Material und Methoden

2.1 Rekrutierung der Studienteilnehmer und Einschlusskriterien

Die Studienteilnehmer mit traumatischer vorderer Kreuzbandruptur wurden im Rahmen der sog. Kniesprechstunde in der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie an der Universitätsmedizin in Göttingen rekrutiert. Alle Teilnehmer erlitten im Vorfeld eine traumatische Ruptur des vorderen Kreuzbandes, welche elektiv in der Universitätsmedizin mit einer vorderen Kreuzbandplastik durch autologes Sehnenmaterial (Semitendinosussehne, Gracilissehne) operativ versorgt wurde.

Die Diagnose wurde durch den klinischen Befund und eine Magnetresonanztomographie (MRT) gesichert.

Alle Patienten mussten zur Aufnahme in die Studie den gegebenen Einschlusskriterien entsprechen. Primär mussten die Patienten mündig oder durch einen Vormund vertreten sein und dabei körperlich, sowie geistig die Teilnahme an einer rehabilitativen Anschlusstherapie nach OP wahrnehmen können. Ausschlusskriterien waren neben der mangelnden Einsichts- und Kooperationsfähigkeit (psychisch erkrankte oder intelligenz- bzw. kognitionsgeminderte Patienten), zudem therapiebedürftige Knorpelschäden, andere Bandinstabilitäten des Kniegelenkes, Arthrose, Frakturen, Re-Rupturen und offene Verletzungen. Internistische Vorerkrankungen waren nur dann als Ausschluss zu werten, wenn diese die Leistungsfähigkeit des Patienten bei der Rehabilitation im Vergleich zum Kollektiv massiv einschränkten und damit das *Outcome* bereits vor Beginn der Teilnahme an der Studie schlechter erschien.

Die Gruppenzuteilung der Studienteilnehmer erfolgte durch einen elektronischen Zufallsgenerator präoperativ.

2.2 Operations- und Rehabilitationsverfahren

Die Kreuzbandoperationen wurden allesamt an der Universitätsmedizin Göttingen von zwei Operateuren nach gleichem Standard im Zeitraum 2014 bis 2016 durchgeführt. Bei dem hier üblicherweise angewandtem Operationsverfahren handelt es sich um eine vordere Kreuzbandplastik mittels autologem Sehnenmaterial. Als Transplantat fungierte die Semitendinosus- und ggf. die Gracilissehne. Intraoperativ wurde eine anatomische Bohrkanalplatzierung durchgeführt und das Semitendinosus- bzw. Gracilissehnentransplantat

schließlich femoral gelenkfern (Endobutton CL ULTRA, Fa. *Smith & Nephew*), sowie tibial gelenknahe mittels Interferenzschraube (Biosure-Inteferenz-Schraube, Fa. *Smith & Nephew*) fixiert.

Postoperativ stellte sich die Rehabilitation in den jeweiligen Subgruppe innerhalb der Studie bis auf das Tragen einer Orthese gleich dar. Die Vorgehensweisen wurden als mündliche Empfehlung bzw. Anweisung sowohl für die Orthesenwahl, als auf für die Physiotherapie vermittelt. In den ersten 3 Wochen sollte auf eine gewichtslimitierende Abrollbewegung von 15-20 kg geachtet werden. Danach durfte eine schmerzadaptierende Belastung durchgeführt werden. Die *range of motion* in beiden Gruppen entspricht einer maximalen Flexion von 60° in den ersten 4 Wochen (0°-0°-60°) mit einer anschließenden maximalen 90°-Flexion für weitere 2 Wochen (0°-0°-90°). Einen Unterschied gab es lediglich bei Studienteilnehmern mit einer nahtfähigen Meniskusläsion als Begleitverletzung. Diese Patienten wurden dazu angehalten auf eine gewichtslimitierende Abrollbewegung mit 15-20 kg für die gesamten ersten 6 Wochen nach Operation zu achten. Die restlichen Empfehlungen im Nachbehandlungsprotokoll entsprechen denen der isolierten vorderen Kreuzbandruptur wie oben genannt. Die Kontrollgruppe wurde nach dem bisher an der UMG verwendeten Schema behandelt und erhielt postoperativ für sechs Wochen eine Bewegungslimitation durch eine *Hypex-Lite*-Schiene® (Fa. Albrecht). Die Studiengruppe erhielt direkt postoperativ keine Orthese. Beide Gruppen erhielten nach Ablauf von sechs Wochen eine ambulante Reha. Klinische Kontrollen erfolgten nach 3 und 6 Wochen sowie nach 3 Monaten.

2.2.1 Untersuchungsablauf

Im Rahmen der prospektiv randomisierten Studie erfolgte präoperativ und drei Monate nach VKB-Ersatz die Untersuchung der Patienten.

Neben der Anamnese wurde eine klinische Untersuchung inklusive Standversuche durchgeführt. Weiterhin erfolgte eine arthrometrische Messung. Vor jeder Untersuchung mussten die Probanden einen Fragebogen mit den unten aufgeführten und in dieser Arbeit im Anhang befindlichen Fragekatalogen und Scores ausfüllen. Dieses galt für jeden einzelnen Score bzw. für jedes *Follow-Up*. Zusammen mit einer in dieser Dissertation nicht eingehenden Ganganalyse kam es zu einem Zeitaufwand von 1,5-2,0 Stunden pro *Follow-Up* für die Probanden.

2.2.2 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine prospektive, randomisierte und kontrollierte klinische Studie. Die Zuteilung der Patienten in die jeweilige Subgruppe (Orthese (O) oder keine Orthese (NO)) erfolgte über eine Randomisierung mittels eines elektronischen Generators. Zur Datenerhebung wurden präoperativ (t0), sowie drei Monate nach der Operation (t1) verschiedene klinische Parameter wie *range of motion* (ROM), Wundheilung, Schmerzen, subjektives Empfinden, Stabilitätsgefühl und Aktivitätsgrad im oben beschriebenen Frageprotokoll entwickelt und evaluiert. Mit dem GNRB Rotab Arthrometer der Firma Genurob® erfolgte die apparative Bestimmung der vorderen Tibiatranslation zur Quantifizierung einer vorderen, sagittalen Instabilität, sowie möglicher Instabilitäten der rotatorischen Komponente. Dabei wurde durch das Arthrometer reproduzierbar Zug auf das vordere Kreuzband (-transplantat) ausgeübt und die entsprechende Auslenkung in Translation und Rotation detektiert (Jenny et al. 2017).

Für die Propriozeptionsanalyse führten wir mit dem Versuch auf dem Balanceboard einen dynamischen, Balancetest im *single-leg-stance* (SLS)- und *eyes-open* (EO)-Setting durch. Der Romberg-Stehversuch stellte einen statischen Balancetest im *single-leg-stance* (SLS)- und *eyes-closed* (EC)-Setting dar. Diskutiert werden für jeden Versuch der Seit-zu-Seit Vergleich zu jedem Zeitpunkt, der Vergleich der Zeitpunkte t0 und t1 mit der betroffenen Extremität, der Vergleich der verletzten Extremität beider Gruppen (O und NO) präoperativ (Zeitpunkt t0) und der Vergleich der operierten Extremität beider Gruppen (O und NO) drei Monate nach der Operation (Zeitpunkt t1).

Die gesamte Studie fand über einen Gesamtzeitraum von 1,5 Jahren statt. Dabei durchliefen die Patienten bei der präoperativen Messung (t0) sowie im Drei-Monate-*Follow-Up* (t1) die gesamte Testbatterie der oben beschriebenen Versuche und Abfragungen.

Die bearbeiteten Fragestellungen dieser Promotionsarbeit betrachten somit funktionelle Ergebnisse in der frühen Rehablilitationsphase nach vorderer Kreuzbandplastik durch ein Semitendinosussehnen- und ggf. Gracilissehentransplantat. Der Schwerpunkt liegt dementsprechend im Vergleich der zu untersuchenden Parameter vor der Operation (t0) mit den korrespondierenden Ergebnissen drei Monate nach vorderer Kreuzbandplastik (t1) in beiden Subgruppen. In genau dieser frührehabilitativen Phase sind Differenzen zwischen Patienten mit und ohne Orthese in Bezug auf objektivierte und subjektive Parameter ((In-)Stabilität, Schmerz und Funktion), sowie Propriozeption und posturaler Kontrolle im Stand denkbar.

2.3 Beschreibung der klinischen Fragekataloge und Scores

2.3.1 *Knee Society-Score* (KSS)

Eine Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Traumatologie zur Untersuchung der allgemeinen Kniefunktion, ist der *Knee Society Score* (KSS, siehe Anhang). Dieser vermag die Kniefunktion zu erfassen (Insall et al. 1989), indem ihm 75% subjektive Kriterien sowie 25% objektive Kriterien zugrunde liegen, welche durch einen Fragebogen evaluiert werden. Schmerz, Bewegungsausmaß, die mediale und laterale, sowie anteriore und posteriore Stabilität werden im Kniescore untersucht. Daneben befasst sich der Funktionsscore mit der Fähigkeit der Mobilität in der Ebene und auf der Treppe. Der Schmerz, die Gehstrecke und das Treppensteigen haben jeweils 25% Anteil an der Höchstpunktzahl. Auf das Bewegungsausmaß und die Stabilität entfallen jeweils 12,5%. Punktabzug gibt es für Beugedefizit, Streckhemmungen und Achsfehlstellung (Knie-Score). Im Funktionsscore erfolgt eine Punktsubtraktion für das Benutzen von Stützen oder Gehwagen (siehe Anhang). Der Proband kreuzt die zustimmenden Antwortmöglichkeiten an. Im Anschluss kann der Score berechnet werden.

2.3.2 *Oxford Knee Score* (OKS)

Bestehend aus zwölf Fragen mit jeweils fünf Antwortmöglichkeiten, die sich mit der Thematik der Kniefunktion, sowie des Knieschmerzes beschäftigen, ist der *Oxford Knee Score* (OKS, siehe Anhang) eine etablierte Scoring-Methode in Bezug auf die Evaluierung eines aktuellen Kniezustandes. Nach Berechnung des Scores wird ein Punkteschlüssel eingesetzt, der den Zustand des Kniegelenkes eines Probanden in eine der vier unten dargestellten Kategorien (exzellent bis mangelhaft) einordnet.

Tabelle 1: Auswertungsschlüssel zum *Oxford Knee Scores* (Modifiziert nach Dawson et al. 1998).

Auswertung des *Oxford Knee Score* (OKS)	
Punktwert	**Bewertung**
0-19	exzellent (*excellent*)
20-29	gut (*good*)
30-39	mäßig (*moderate*)
40-48	mangelhaft (*poor*)

2.3.3 *Tegner Acivity Level Scale* (TAS)

Die Tegner'sche Wertung des Aktivitätslevels (siehe Anhang) wurde zur Vervollständigung des *Lysholm Knee Scores* (im Original für Patienten mit vorderer Kreuzbandruptur) entwickelt und vermag die grundlegende Aktivität einer Person über ein Punktbewertungssystem zu messen. (Briggs et al. 2009; Hasan 2004). Dabei kann der Score Werte zwischen 0 und 10 annehmen, wobei der Wert 0 der Verfassung entspricht, dass keine Aktivität mehr möglich ist und der Wert 10 eine professionelle Sportaktivität auf höchstem Niveau (nationale oder internationale Ebene) skaliert. Dazwischen finden sich Kategorien von sitzender Tätigkeit über reinen Hobbysport bis zur Ausübung von Sportarten auf Amateur- oder Profiniveau. Der Proband kreuzt den gegenwärtigen Aktivitätszustand an. Präoperativ wurde der Aktivitätszustand vor Verletzung bedacht.

2.3.4 Visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung (VAS)

Die visuelle Analogskala zur Detektion von Schmerz ist ein subjektives Verfahren mit dem Ziel eine Darstellung des aktuellen Schmerzempfindens auf einer Liniengrafik zu visualisieren (ganz links = kein Schmerz, ganz rechts = stärkster, vorstellbarer Schmerz) oder prozentuale Wertung (0 % - 100 % Schmerz) für die individuelle Scherzempfindung zu entwickeln. Der Patient markiert die Stelle, welche seiner zum untersuchten Zeitpunkt bestehenden Schmerzempfindung gleichkommt. Im Rahmen der Studie zur Kreuzbandrehabilitation wird die visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung (VAS, siehe Anhang) benutzt, um in jedem *Follow-Up* den aktuellen Schmerzzustand des betroffenen Kniegelenkes zu erfassen. Zu Auswertungszwecken wird das visuelle Ergebnis in ein numerisches Ergebnis umgewandelt.

Markieren Sie mit einem Strich, wie stark Sie den Schmerz
in Ihrem Kniegelenk zum jetzigen Zeitpunkt empfinden.

0 steht für keinen Schmerz und
10 für den maximal vorstellbaren Schmerz.

0 _____ 10

Abbildung 3: Darstellung der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung aus dem in dieser Studie verwendeten Fragebogen (siehe zudem Anhang).

2.4 Beschreibung des Messinstrumentariums

2.4.1 Arthrometrie (GNRB® Rotab)

Bei der arthrometrischen Messung des Kniegelenkes handelt es sich um ein apparatives Verfahren zur Objektivierung der Laxizität des vorderen Kreuzbandes. Es handelt sich um eine ergänzende Messung, welche parallel zu subjektiven Verfahren wie z. B. dem Lachman-Test von Untersuchern durchgeführt werden kann, um objektive Messwerte zu erhalten. Das Knie des Studienpatienten wird in das Gerät gelegt. Fixierungspunkte sind zum einen das Knie (Patellaanpressfixierung) und zum anderen der Fuß (Sprunggelenks- und Fußrückenfixation) (s. Abb. 1). Alle Fixierkräfte werden über eine Software angezeigt, sodass eine genaue und bei jedem Patienten gleichbleibende bzw. im Messablauf konstante Fixierung angelegt werden kann. Der erste Sensor befindet sich zur Detektion der Translation auf der Tuberositas tibiae. Ein zweiter Sensor ist in der Fußfixation installiert und misst die rotatorische Auslenkung.

Abbildung 4: GNRB® Rotab Arthrometrie Modellaufnahme (links, mit freundlicher Genehmigung der Fa. Genourob®) und mit eingespanntem rechtem Knie (rechts, eigene Aufnahme).

In der hier präsentierten Studie wurde mit dem GNRB® Rotab Arthrometer der Firma Genourob® gearbeitet. Dieses Messinstrument bietet neben der Messung einer translationalen (In-)stabilität, also dem Gleiten der Tibia nach vorne, auch die Möglichkeit zur Bestimmung rotatorischer (In-)stabilitäten. Die eingebauten Sensoren ermöglichen über 50 Messpunkte die passiv-induzierte Bewegung mit einer räumlichen Auflösung von 1/10 mm Genauigkeit zu detektieren und diese anschließend zeitlich im Millisekundenbereich aufzuzeichnen (Quelle: http://www.genourob.com/de/diagnostic-ligaments_gerate_gnrb-rotam_gnrb-rotab.phtml, Zugriff am 31.07.2018; Jenny u. a. 2017). Eine Schubkraft von 1 bis 300 N kann hierbei durch das Arthrometer erzeugt werden. Es besteht weiterhin die Option der tabellarischen Vergleichbarkeit verschiedenen Werte in den drei VKB-Belastungsstufen (134, 150, 200 N) über die Zeit, sowie die Möglichkeit zur graphischen Darstellung der Daten durch Software der Firma LDA®. Fokussiert wurde in dieser Ausarbeitung die AP-Translation.

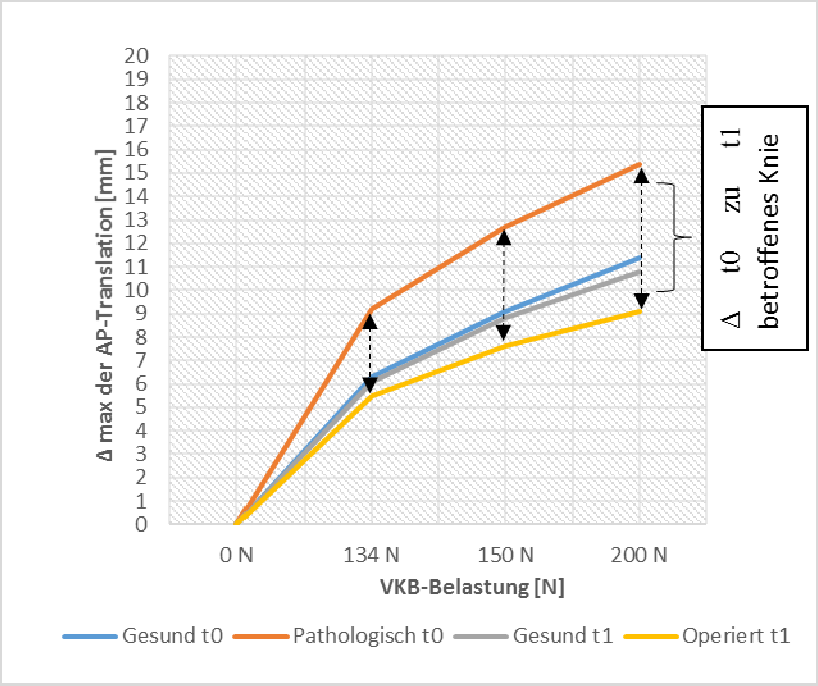


Abbildung 5: Graphische Auftragung der arthrometrischen Messwerte beider Extremitäten eines Beispielprobanden.

2.4.2 Isometrie und propriozeptive bzw. posturale Standversuche

Zur Testung der tiefensensiblen Funktion wurde das etablierte isometrische Verfahren der Flexionsmessung mit einem Goniometer (Winkelmesser) durchgeführt. Diese Methode kann eine Möglichkeit sein, isometrische Dysbalancen im Rahmen einer Kniegelenksverletzung im Seitenvergleich zu untersuchen. In der hier beschriebenen Studie wird in jedem *Follow-Up*, neben der Messung des verletzten bzw. operierten Knies, ein Seitenvergleich durchgeführt. Der Ablauf strukturiert sich wie folgt: Die Patienten wurden nach primärer Demonstration einer 90° Flexion des Kniegelenkes in Rückenlage unter Ausschaltung der optischen Selbstkontrolle und nachfolgender Extension dazu aufgefordert die zuvor demonstrierte 90° Flexion wiedereinzunehmen. Die Pause zwischen Demonstration und eigenständiger Wiederaufnahme der 90°-Flexion entsprach fünf Sekunden. Die eigenständig eingenommene Flexion wurde dann mittels Goniometer überprüft und ggf. bestehende Abweichungen festgehalten. Nach dieser ersten Messung erfolgte eine weitere 90°-Flexionsisometrie, jedoch ohne vorherige Demonstration der besagten 90°. Die eingenommene Flexion wurde erneut goniometrisch überprüft und festgehalten. Zwischen dem Messversuch mit vorheriger Demonstration und dem Versuch ohne Demonstration wurde eine Ruhepause von 30 Sekunden eingehalten. Zunächst durchlief das kontralaterale, gesunde Kniegelenk die Testreihe. Als zweites wurde das betroffene Kniegelenk goniometrisch untersucht.

In einem weiteren Testverfahren zur Evaluation des posturalen Kontrolle (also der Körperhaltung betreffend) wurden alle Patienten im einbeinigen Stand (*single-leg-stance*, SLS) auf

einem *Balance-Board* (Therapiekreisel) dazu aufgefordert das Gleichgewicht zu halten. Der Fuß sollte dabei mittig auf dem Balance-Board platziert werden. Die Augen sind geöffnet (*eyes-open*). Mit dem Anheben des kontralateralen Fußes startete die Zeitmessung. Der Test wurde nach maximal einer Minute durch den Prüfer beendet. Es erfolgte sowohl die Messung des Betroffenen, als auch des nicht-betroffenen Beines, zur Entwicklung eines Seitenvergleiches. Dieser Versuch stellt einen dynamischen Balancetest dar.

Als Letztes folgte der Stehversuch nach Romberg, welcher einen statischen Balancetest darstellt. Dieses aus der Neurologie stammende Verfahren dient der Abklärung von ataktischen Veränderungen. Es wird auch in diesem Fall die posturale Kontrolle begutachtet. Es wurde zunächst die gesunde, kontralaterale Extremität geprüft. Anschließend kam es zum Test des verletzten (Zeitpunkt t0) bzw. VKB-rekonstruierten Kniegelenkes (Zeitpunkt t1). Beide Versuchsteile wurden mit geschlossenen Augen durchgeführt (*eyes-closed*).

2.5 Statistik

Die ermittelten Daten wurden zunächst in tabellarische Form gebracht und anschließend in Statistica (Version 13.1) übertragen. Mit Hilfe dieser Software wurden alle Daten kalkuliert und ausgewertet. Dabei kamen die folgenden statistischen Tests zum Einsatz:

Vergleich der präoperativen (Zeitpunkt t0) mit den postoperativen Daten (Zeitpunkt t1) innerhalb einer Gruppe. (Elementare Statistik, t-Test, gepaarte Stichproben).

Vergleich der Daten beider Gruppen (O- vs. NO-Gruppe) zum Zeitpunkt t0 (präoperativ) bzw. t1 (drei Monate postoperativ). (Elementare Statistik, t-Test, unabhängige Stichproben, Variablen).

Ein p-Wert von $< 0{,}05$ wurde als Signifikanz definiert

Resultierend aus der statistischen Auswertung wurde ein Vergleich der erhoben Werten zum Zeitpunkt t0 (präoperativ) mit den Werten des Zeitpunktes t1 (drei Monate postoperativ) durchgeführt, um das postoperative *Outcome* messen zu können. In der Arthrometrie, sowie den isometrischen Tests dient der Vergleich zwischen gesunder und pathologischer bzw. operierter Extremität als zusätzliche Referenz. Abschließend erfolgte der Vergleich der Kontrollgruppe (O-Gruppe, Orthesengruppe; *Orthesis*) mit der Studiengruppe (NO-Gruppe, Nicht-Orthesengruppe; *No-Orthesis*) drei Monate nach der vorderen Kreuzbandplastik (t1) und rückblickend präoperativ (t0).

Die Graphiken und dargestellten Tabellen wurden mit Microsoft® Excel 2016 konstruiert.

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Studienteilnehmerdaten

3.1.1 Gesamtteilnehmeranzahl und Gruppenverteilung

In diese Studie wurden insgesamt 50 Probanden eingeschlossen. Die Teilnehmer wurden präoperativ zum Zeitpunkt t0 untersucht und unter Beachtung der Ausschlusskriterien nachfolgend in die Studie aufgenommen. Nach im Mittel 14,3 (+/- 4,7) Wochen, also 3,6 (+/- 1,2 Monaten) postoperativ, also zum Zeitpunkt t1, wurden anschließend 43 der primär eingeschlossenen Studienteilnehmer (86,0 % der präoperativen Probanden) erneut untersucht. Dieses entspricht einer Drop-out Rate von 14%. Von diesen 7 Probanden schieden 4 aus der Studie aufgrund eines Wohnortwechsels aus. Bei 2 Personen konnte die Rehabilitation nicht, gemäß der Vorgaben, durchgeführt werden und 1 Person wurde nicht mehr erreicht. Die Randomisierung erfolgte durch einen Zufallsgenerator. Daraus resultierte folgende präoperative Gruppenverteilung (Zeitpunkt t0): O-Gruppe 26 Studienteilnehmer, NO-Gruppe 24 Studienteilnehmer. Es ergab sich ein Gruppenverhältnis von 52,0 % (O-Gruppe) zu 48,0 % (NO-Gruppe). Im postoperativen Untersuchungsabschnitt nach drei Monaten (Zeitpunkt t1) ergab sich nach Abzug der Drop-Outs ein Gruppenverhältnis von 53,5 % (23 Studienteilnehmer in der O-Gruppe) zu 46,5 % (20 Studienteilnehmer in der NO-Gruppe). Das Gruppenverhältnis zum jeweiligen Zeitpunkt t0 und t1 wird in Abbildung 6 angezeigt.

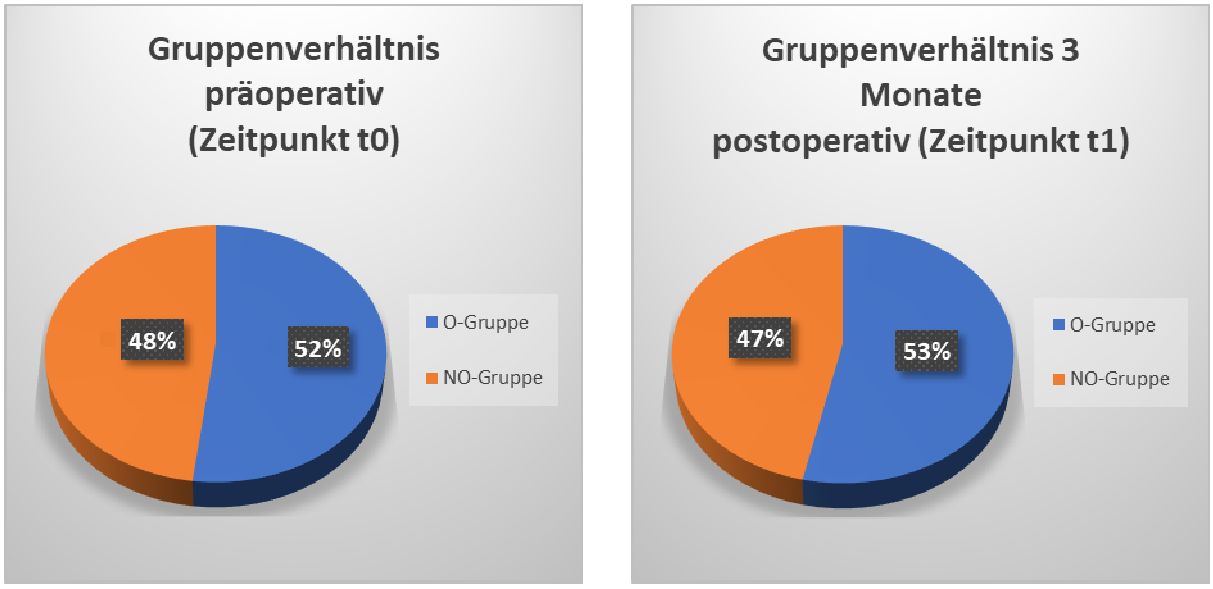


Abbildung 6: Gruppenverhältnisse zum jeweiligen Zeitpunkt vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

3.1.2 Geschlechter- und Altersverteilung

In die Studie wurden 17 weibliche Teilnehmerinnen (♀, im Alter zwischen 16 und 50 Jahren) und 33 männliche Teilnehmer (♂, im Alter zwischen 16 und 52 Jahren) eingeschlossen. Das ergibt ein Gesamtgeschlechterverhältnis von 34,0 % ♀ zu 66,0 % ♂. Infolge der Randomisierung ergab sich unter allen weiblichen Studienteilnehmerinnen eine Aufteilung von 9 Probandinnen in die O-Gruppe (52,9 % aller weiblichen Teilnehmerinnen, 18,0 % der Gesamtteilnehmer) und 8 Probandinnen in die NO-Gruppe (47,1 % aller weiblichen Teilnehmerinnen, 16,0 % der Gesamtteilnehmer). Bei den männlichen Studienteilnehmern entstand eine Aufteilung von 17 Probanden in der O-Gruppe (51,5 % aller männlichen Teilnehmer, 34,0 % der Gesamtteilnehmer) und 16 Probanden in der NO-Gruppe (48,5 % aller männlichen Teilnehmer, 32,0 % der Gesamtteilnehmer). Die Geschlechterverteilung der Gesamtstudie, sowie der Subgruppen werden in Abbildung 7 illustriert.

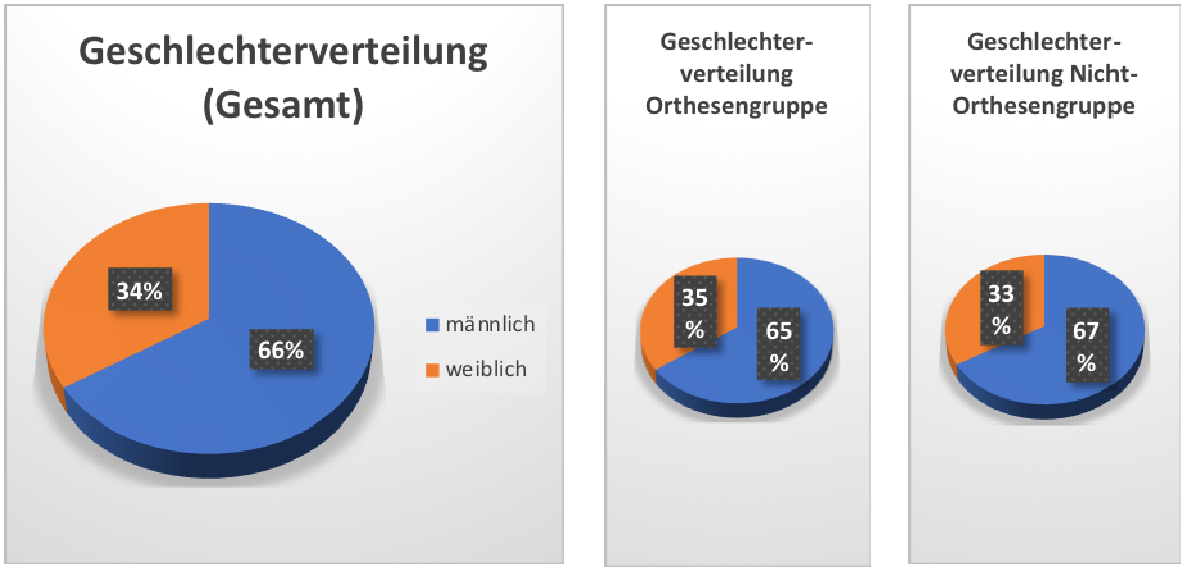


Abbildung 7: Geschlechterverteilung der Gesamtstudie, Geschlechterverteilung innerhalb der O- und NO-Gruppe.

Die jüngste Teilnehmerin war zu Studienbeginn 16 Jahre alt. Der älteste Teilnehmer war bei Einschluss in die Studie 52 Jahre alt. In der O-Gruppe zeigt sich ein Altersdurchschnitt von 25,6 (+/- 5,6) Jahren und in der NO-Gruppe ein Mittelwert von 24,1 (+/- 6,1) Jahren. Die Altersverteilung wird in Abbildung 8 verdeutlicht.

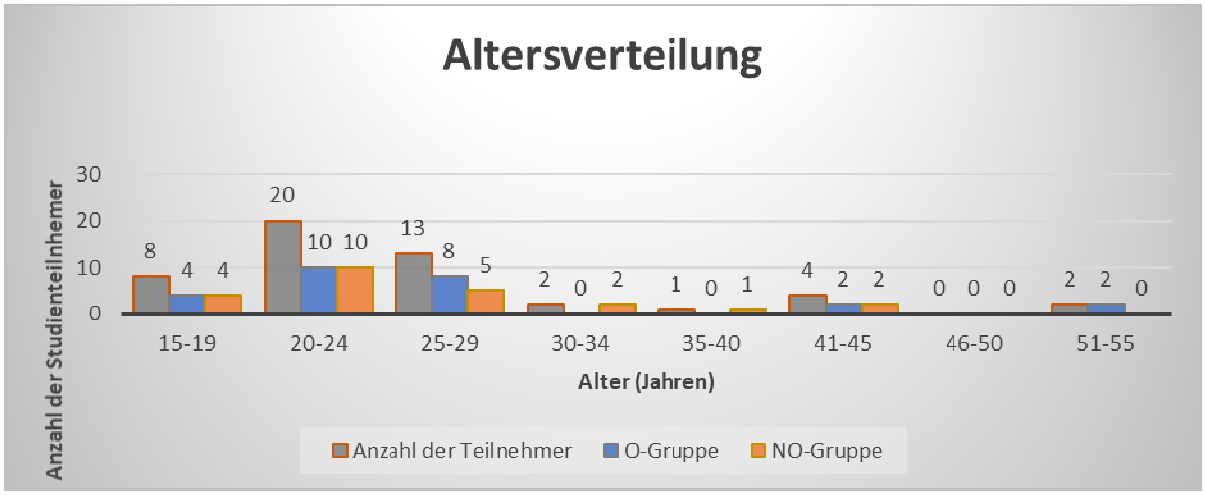


Abbildung 8: Altersverteilung der Studienteilnehmer und -teilnehmerinnen der Gesamtstudie.

3.1.3 Aktivitäts- und Traumaanamnese

Anamnestisch wurden alle Studienteilnehmer vor Aufnahme in die Studie nach ihrem jeweiligen Aktivitätsniveau und der individuellen Sporttätigkeit befragt. Ebenfalls wurde das zur Ruptur führende Trauma eruiert. Aus der Anamnese ergab sich eine Anzahl von 48 sportausführenden Probanden (~88,9 %) und einer Anzahl von 2 nicht sportaktiven Probanden (~11,1 %). 44 Studienteilnehmer erlitten die vordere Kreuzbandruptur bei Sportaktivität (~88,0 %). 6 Studienteilnehmer erlitten die Verletzung außerhalb einer sportlichen Betätigung (~12,0 %).

Die Sportartanamnese ergab folgende Verteilung: Fußball 25 Personen (~50,0 %), Handball 7 Personen (~14,0 %), Volleyball 5 Personen (~10,0 %), Skisport 2 Personen (~4,0 %), Klettern 1 Person (~2,0 %). Durch ein Trauma im Alltag verletzen sich 10 Personen (20,0 %). Im Rahmen von reinen Laufsportarten verletzte sich niemand. Diese Verteilung zeigt sich für die Gesamtstudie, sowie für die jeweilige Subgruppe in den folgenden Abbildungen (Abb. 9 und 10).

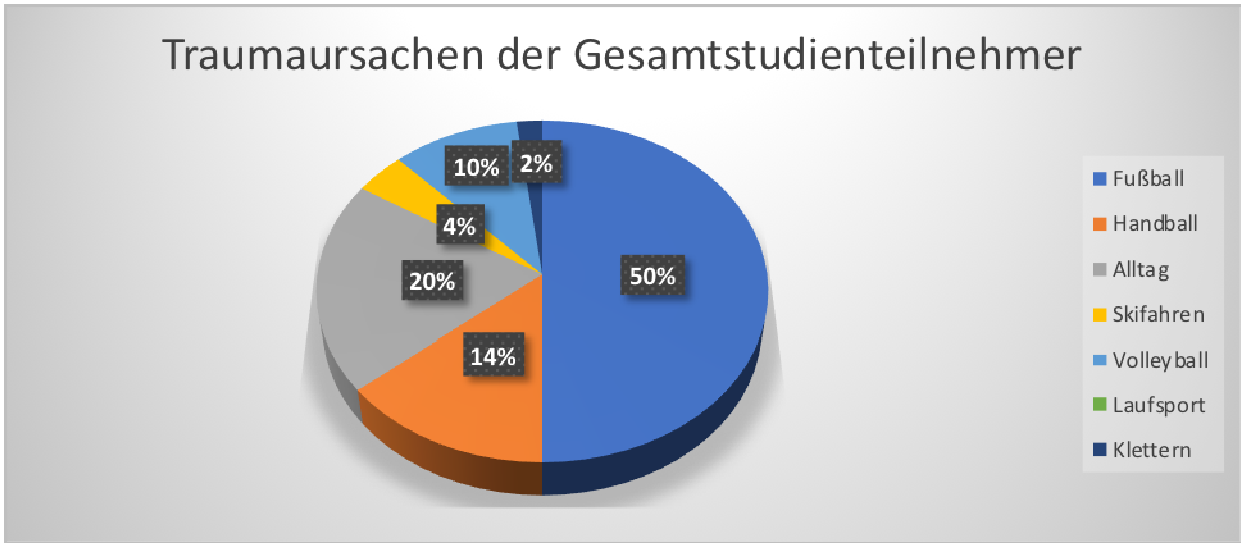


Abbildung 9: Traumaursache der Studienteilnehmer der Gesamtstudie.

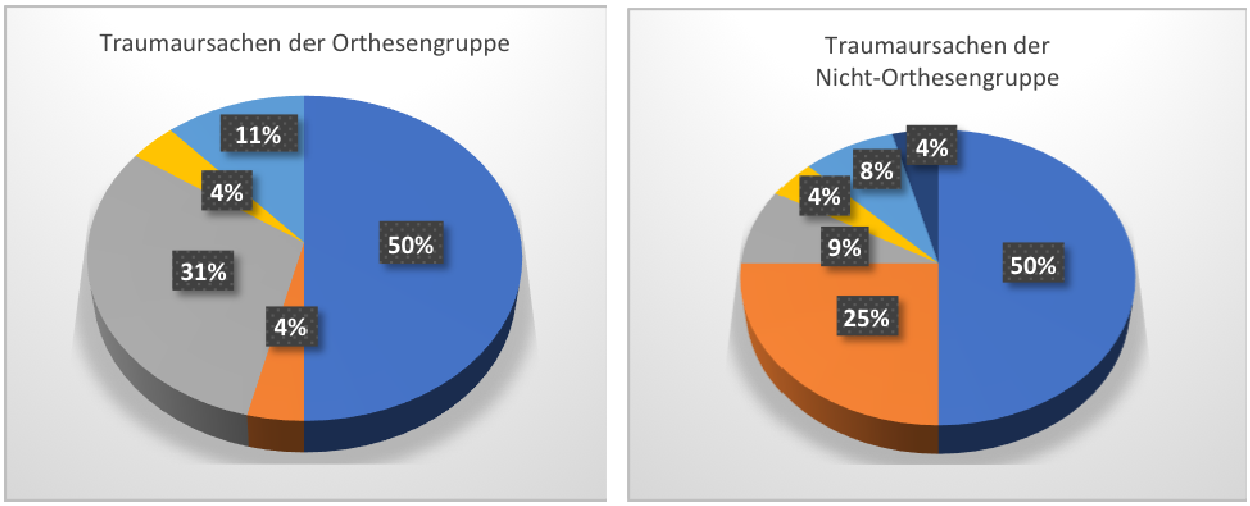


Abbildung 10: Traumaursache der Studienteilnehmer in den jeweiligen Gruppen (für Legende siehe vorherige Abbildung).

Bei der Verteilung der betroffenen Extremität aller Betroffenen ergab die Verteilung ein Verhältnis von 46,0 % rechtes Knie zu 54,0 % linkes Knie, welches in der folgenden Abbildung 11 verdeutlicht wird.

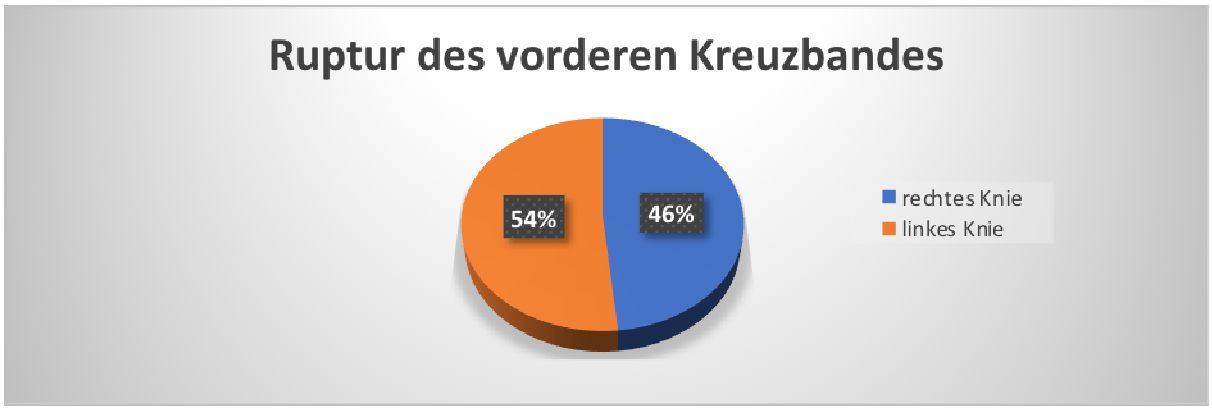


Abbildung 11: Seitenverhältnis der jeweils betroffenen Extremität aller Studienteilnehmer

In der O-Gruppe fand sich zum Zeitpunkt t0 ein Verhältnis von 46,2 % (rechts) zu 53,8 % (links) In der NO-Gruppe war das Verhältnis zum Zeitpunkt t0 33,3 % (rechts) zu 66,6 % (links). Das Verhältnis der betroffenen Extremität zum Zeitpunkt t1 (drei Monate nach der Operation) aus beiden Gruppen ergab einen prozentualen Wert von 44,2 % (rechts) zu 55,8 % (links). In der O-Gruppe war dieses ein Verhältnis von 47,8 % rechtes Knie zu 52,2% linkes Knie, sowie in der NO-Gruppe 40,0 % rechtes Knie zu 60,0 % linkes Knie.

3.2 Ergebnisse aus Score und Fragenkatalogen

3.2.1 KSS Ergebnisse (*Knee Society Score*)

Im ersten Subscore „Knie“ wurde zum präoperativen Zeitpunkt (Zeitpunkt t0) in der Orthesen-Gruppe (O-Gruppe) ein mittlerer Score von 70,5 +/- 16,3 ermittelt. In der Gruppe der orthesenfreien Studienteilnehmer (NO-Gruppe) lag der mittlere Score präoperativ (Zeitpunkt t0) bei 74,7 +/- 11,0. Es besteht keine Signifikanz (p = 0,407).

Im zweiten Subscore „Funktion“ zeigte sich ein mittlerer, präoperativer Score von 93,5 +/- 6,7 (Zeitpunkt t0) in der O-Gruppe und ein Mittelwert des Scores von 95,7 +/- 4,7 in der NO-Gruppe (Zeitpunkt t0). Es liegt keine Signifikanz vor (p = 0,297).

Im *Follow-Up* nach drei Monaten (Zeitpunkt t1) ergibt der Mittelwert des Subscores „Knie“ in der Orthesen-Gruppe (O-Gruppe) 88,4 +/- 15,4 und in der orthesenfreien Gruppe (NO-Gruppe) 95,9 +/- 5,8.

Im Subscore „Funktion“ wurde nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) ein mittlerer Score von 97,4 +/- 4,4 in der O-Gruppe und ein Score von 100,0 +/- 0,0 in der NO-Gruppe festgestellt.

Gruppenvergleichend (O-Gruppe vs. NO-Gruppe) fanden sich im *Follow-Up* nach drei Monaten (Zeitpunkt t1) im KSS „Knie“ keine signifikante Unterscheidung (p = 0,07) zwischen den beiden Versuchsgruppen (siehe Abbildung 12).

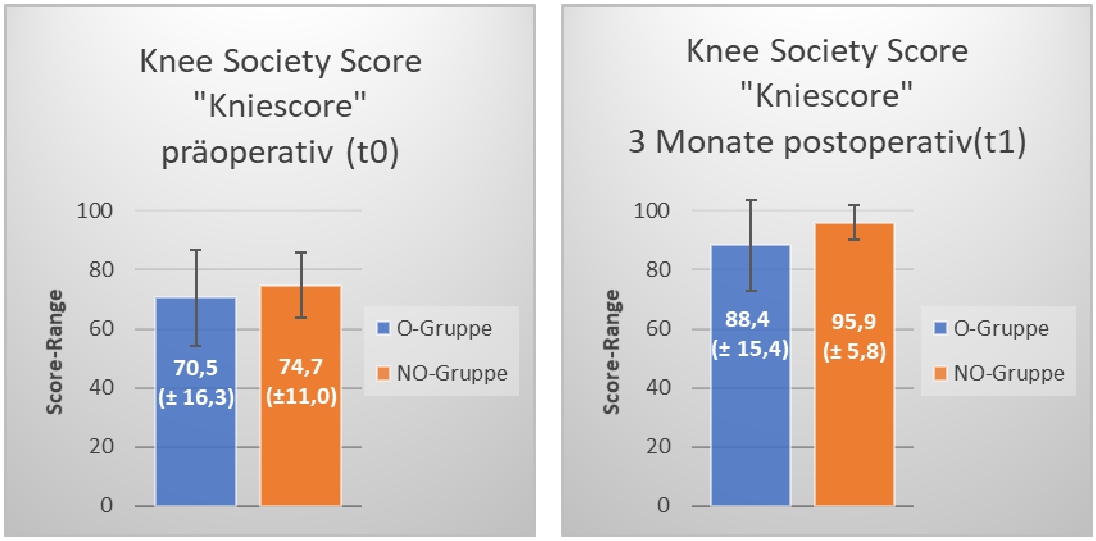


Abbildung 12: Vergleich von O- und NO-Gruppe im *Knee Society* Kniescore (KSSF) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

Im KSS „Funktion“ konnte eine niedrig signifikante Unterscheidung (p = 0,022) nach vorderer Kreuzbandplastik (Zeitpunkt t1) zu Gunsten der nicht mit Orthese nachbehandelten Probanden nachgewiesen werden. Abbildung 13 veranschaulicht die erhobenen Werten

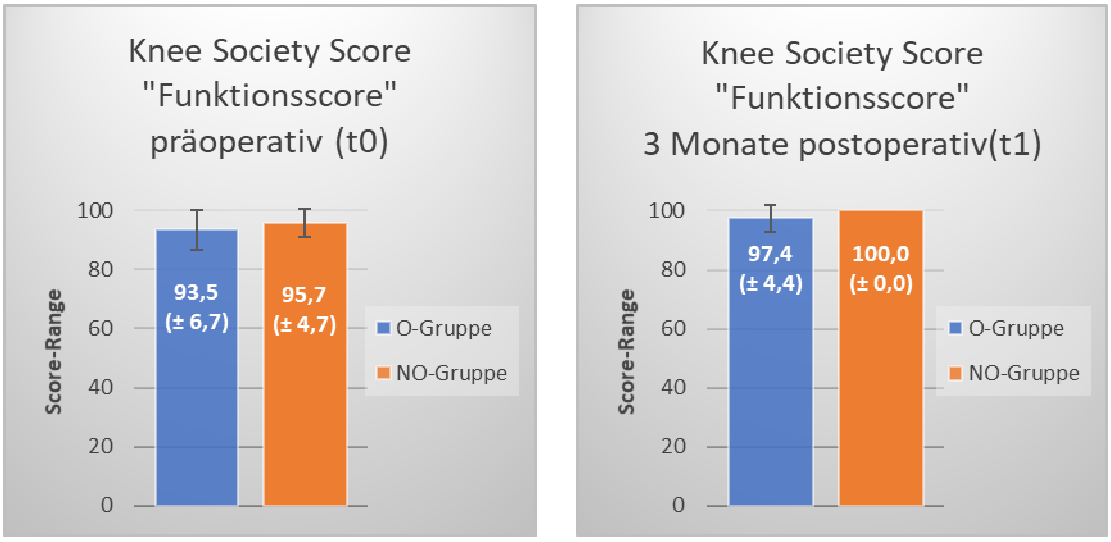


Abbildung 13: Vergleich von O- und NO-Gruppe im *Knee Society* Funktionsscore (KSSK) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

3.2.2 OKS Ergebnisse (*Oxford Knee Score*)

Im *Oxford Knee Score* (OKS, siehe Abbildung 12) wurde präoperativ (Zeitpunkt t0) in der Orthesen-Gruppe (O-Gruppe) ein mittlerer Wert von 27,4 +/- 6,1 erreicht. Die orthesenfreie Kohorte (NO-Gruppe) erzielte vor der Operation (Zeitpunkt t0) einen Mittelwert von 21,1 +/- 5,6 im OKS-Score. Dieser Unterschied zeigte sich signifikant (p = 0,004). Drei Monate nach der Operation (Zeitpunkt t1) erzielte die O-Gruppe im Mittel einen Score von 22,6 +/- 6,6. Die NO-Gruppe erzielte postoperativ (Zeitpunkt t1) einen mittleren OKS-Score von 19,8 +/- 5,1.

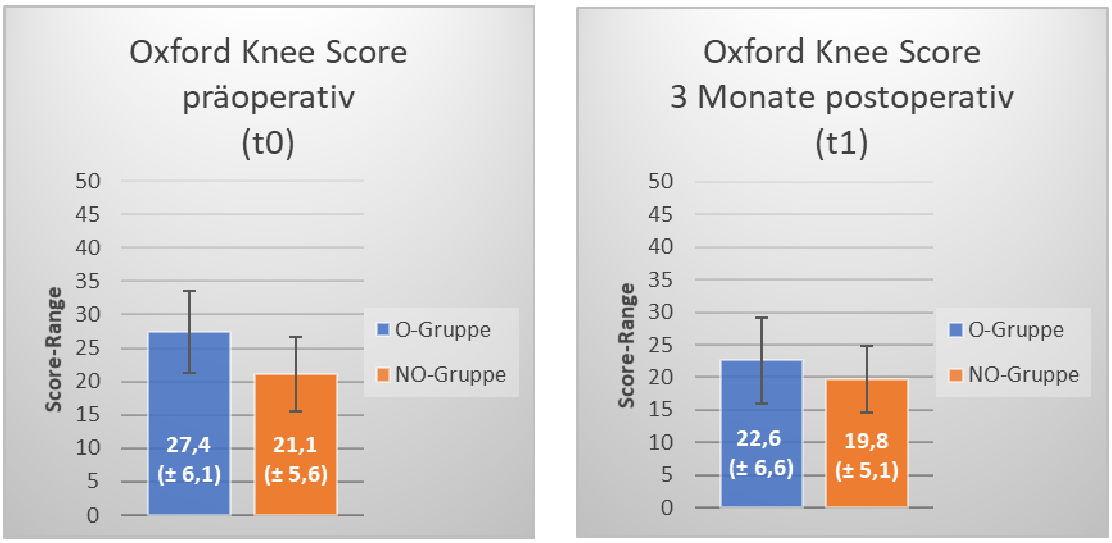


Abbildung 14: Vergleich von O- und NO-Gruppe *Oxford Knee Score* (OKS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

Im Vergleich (siehe Abbildung 14) zeigte sich im *Oxford Knee Score* (OKS) nach drei Monaten postoperativ, also zum Zeitpunkt t1, zwischen beiden Subgruppen keine Signifikanz (p = 0,068), jedoch eine Tendenz zum besseren *Outcome* im OKS für die NO-Gruppe.

3.2.3 TAS Ergebnisse (*Tegner-Activity-Score*)

In der Orthesengruppe (O-Gruppe) wurde präoperativ (Zeitpunkt t0) ein mittlerer *Tegner-Activity-Score* (TAS) von 4,4 +/- 1,2 ermittelt. Der präoperative (Zeitpunkt t0) Wert der Patienten ohne Orthesentherapie (NO-Gruppe) ergab 6,9 +/- 1,6. Es wurde eine Signifikanz für den Unterschied beider Gruppen errechnet (p = <0,001).

Postoperativ (Zeitpunkt t1) zeigten die Studienteilnehmer der O-Gruppe einen TAS von 3,8 +/- 0,6. In der NO-Gruppe entwickelte sich nach drei Monaten (Zeitpunkt t1) ein mittlerer TAS-Wert von 4,7 +/- 1,3.

Vergleichend für den Zeitpunkt t1, drei Monate nach Operation, zeigt sich jedoch ein knapp nicht-signifikanter Unterschied zwischen der O- und der NO-Gruppe (p = 0,051). Eine Tendenz zugunsten der NO-Gruppe ist dennoch erkennbar. Die Ergebnisse des *Tegner-Activity-Scores* sind in Abbildung 15 gezeigt.

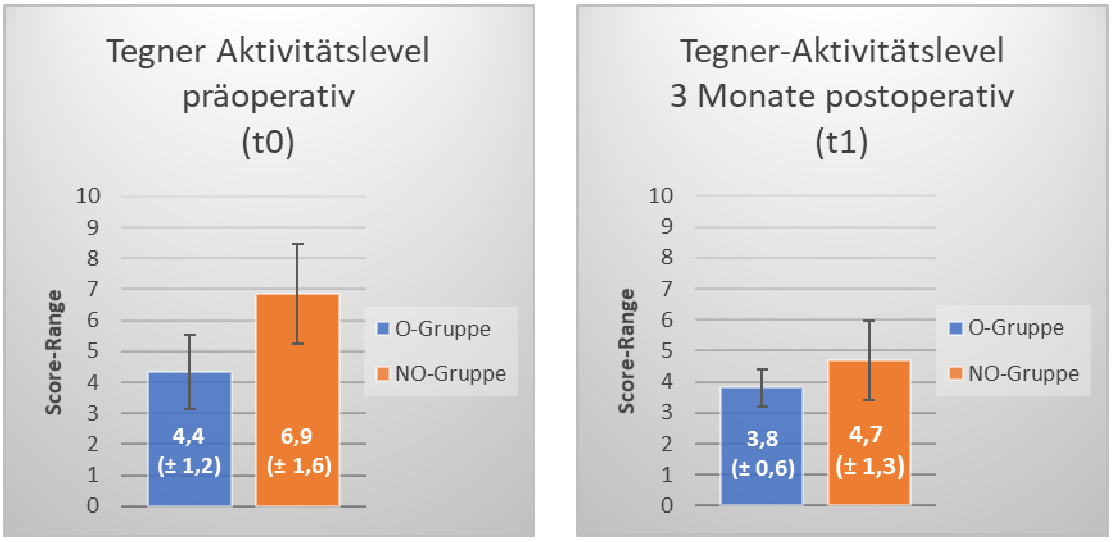
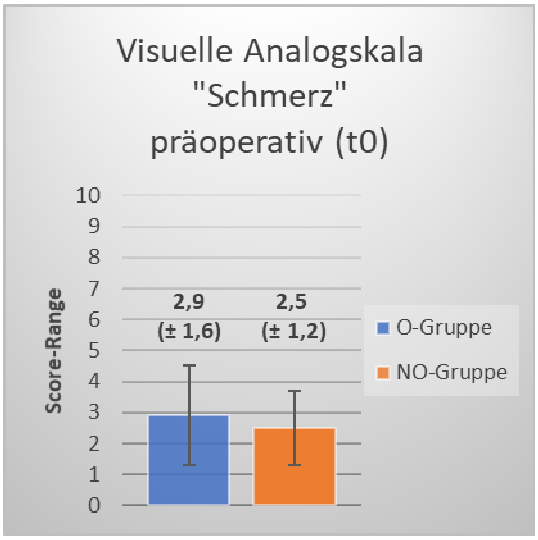


Abbildung 15: Vergleich von O- und NO-Gruppe im Tegner-Aktivitätslevel (TAS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

3.2.4 VAS Ergebnisse (Visuelle Analogskala zur Schmerzerfassung)

Die Studiengruppe der mit Orthese versorgten Teilnehmer (O-Gruppe) gab vor der Operation (Zeitpunkt t0) einen mittleren VAS-Wert von 2,9 +/-1,6 an. Bei den Teilnehmern der Gruppe ohne Orthesentherapie (NO-Gruppe) wurde präoperativ (Zeitpunkt t0) ein mittlerer VAS-Wert von 2,5 +/- 1,2 angezeigt. Es ist keine Signifikanz errechnet (p = 0,441).

Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) wurde in der O-Gruppe ein VAS-Mittelwert von 1,1 +/- 1,1 und in der NO-Gruppe ein VAS-Mittelwert von 1,0 +/- 1,0 evaluiert.



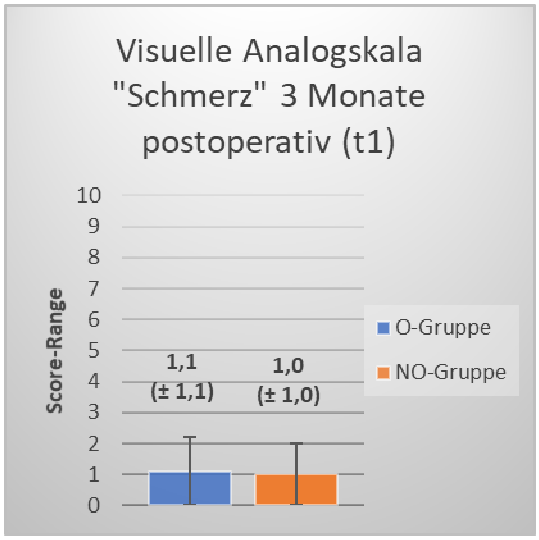


Abbildung 16: Vergleich von O- und NO-Gruppe in der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung (VAS) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

Vergleichend war nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) kein signifikanter Unterschied zwischen der O-Gruppe und der NO-Gruppe festzustellen (p = 0,443). (s. Abb. 16)

Tabelle 2: Übersicht der Ergebnisse aus den Scores.

	PRÄOPERATIV (T0)		**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**	
SCORES (PUNKTWERTE)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**
KSSK	70,5 (± 16,3)	74,7 (±11,0)	88,4 (± 15,4)	95,9 (± 5,8)
VERGLEICH		n.s. (p = 0,407)		n.s. (p = 0,07)
KSSF	93,5 (± 6,7)	95,7 (± 4,7)	97,4 (± 4,4)	100,0 (± 0,0)
VERGLEICH		n.s. (p = 0,297)		**p = 0,022**
OKS	27,4 (± 6,1)	21,1 (± 5,6)	22,6 (± 6,6)	19,8 (± 5,1)
VERGLEICH		**p = 0,004**		n.s. (p = 0,068)
TAS	4,4 (± 1,2)	6,9 (± 1,6)	3,8 (± 0,6)	4,7 (± 1,3)
VERGLEICH		**p = <0,001**		n.s. (p = 0,051)
VAS	2,9 (± 1,6)	2,5 (± 1,2)	1,1 (± 1,1)	1,0 (± 1,0)
VERGLEICH		n.s. (p = 0,441)		n.s. (p= 0,443)

3.3 Ergebnisse der arthrometrischen Messung (Rotab)

Die Ergebnisse der Kontrollgruppe mit Orthese (O-Gruppe) in der postoperativen Therapie stellen sich wie folgt dar: Präoperativ (Zeitpunkt t0) konnte in dieser Gruppe am verletzten Kniegelenk ein Mittelwert der Kniegelenkstranslation von 9,6 (+/- 3,3) mm bei einem Krafteinsatz von 134 N, 10,2 (+/- 3,5) mm bei 150 N und 12,1 (+/- 3,7) mm bei maximaler Kraft von 200 N gemessen werden. Am kontralateralen, gesunden Kniegelenk entsprachen die Werte im Mittel 7,7 (+/- 3,0) mm bei 134 N, 8,3 (+/- 3,0) mm bei 150 N und 9,9 (+/- 2,7) mm bei 200 N. Die Seit-zu-Seit Differenzen (Differenz pathologisches Knie minus gesundes, kontralaterales Knie zum Zeitpunkt t0) aller erhobenen Messwerte im Mittel zeigten sich mit 1,9 (+/- 3,6) mm bei 134 N, 1,9 (+/- 3,8) mm bei 150 N und 2,2 (+/- 3,6) mm bei 200 N.

Nach drei Monaten postoperativ, zum Zeitpunkt t1, wurde im operierten Kniegelenk eine gemittelte Translation von 7,0 (+/- 1,4) mm bei 134 N, 7,3 (+/- 1,4) mm bei 150 N und 9,0 (+/- 1,5) mm bei 200 N Kraft gemessen. Das kontralaterale, gesunde Knie zeigte zum Zeitpunkt t1 mittlere Werte von 6,9 (+/- 2,0) mm bei 134 N, 7,2 (+/- 2,0) mm bei 150 N und 8,7 (+/- 2,1) mm bei 200 N auf. Im Seit-zu-Seit Vergleich aller erhobenen Messwerte konnte bei 134 N 0,1 (+/- 1,6) mm, bei 150 N 0,1 (+/- 1,6) mm, und bei 200 N 0,3 (+/- 1,7) mm Translationsunterschied zwischen beiden Knien errechnet werden.

In der O-Gruppe resultiert eine verbesserte, arthrometrisch-gemessene Translationsstabilität im betroffenen Kniegelenk. Die Reduktion der AP-Translation vom Zeitpunkt t0 (vor der Operation) zum Zeitpunkt t1 (drei Monate nach der Operation) entspricht am betroffenen Kniegelenk -2,6 mm bei 134 N, -2,9 mm bei 150 N und -3,1 mm bei 200 N eingesetzte Kraft. Diese Differenzen stellen sich bezüglich jeder Belastungskraft auf das vordere Kreuzband (134, 150, 200 N) als signifikante Verminderung der Translationsinstabilität dar (134 N: $p = <0{,}000$ 150 N: $p = < 0{,}000$, 200 N: $p = <0{,}000$).

Im gesunden, kontralateralen Knie ließ sich eine Differenz der jeweiligen Mittelwerte von -0,8 mm bei 134 N und -1,1 mm bei 150 N und -1,2 mm bei 200 N Belastung auf das vordere Kreuzband messen. Es ergab sich kein signifikanter Unterschied in der Translation zwischen dem Zeitpunkt t0 und t1 im gesunden Kniegelenk bei 134, 150 und 200 N VKB-Belastung. (Differenz gesundes, kontralaterales Knie zum Zeitpunkt t1 minus gesundes, kontralaterales Knie zum Zeitpunkt t0; 134 N: $p = 0{,}269$, 150N: $p = 0{,}147$, 200N $p = 0{,}082$).

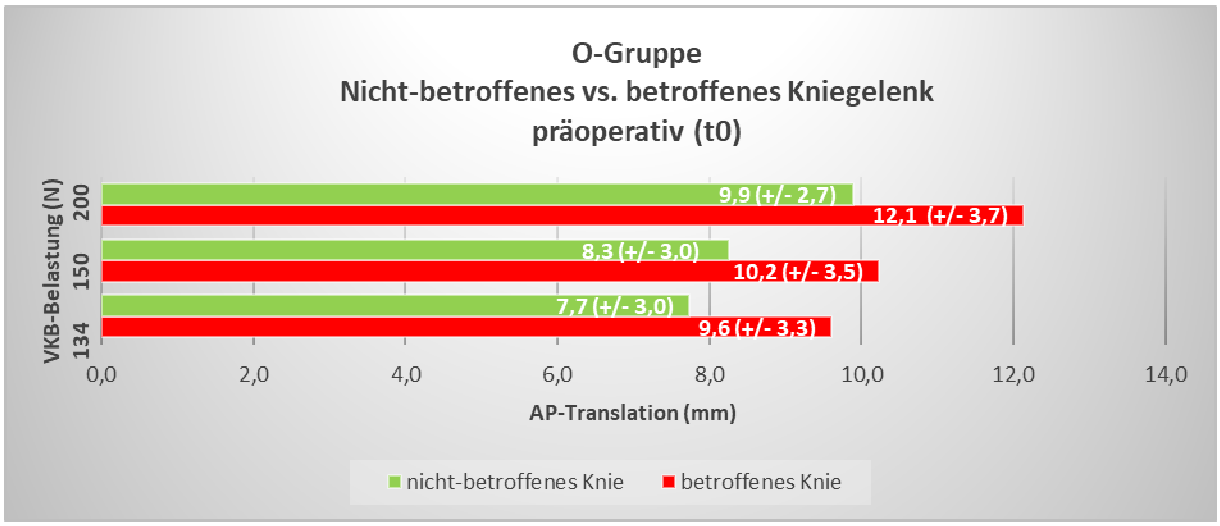


Abbildung 17: O-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t0.

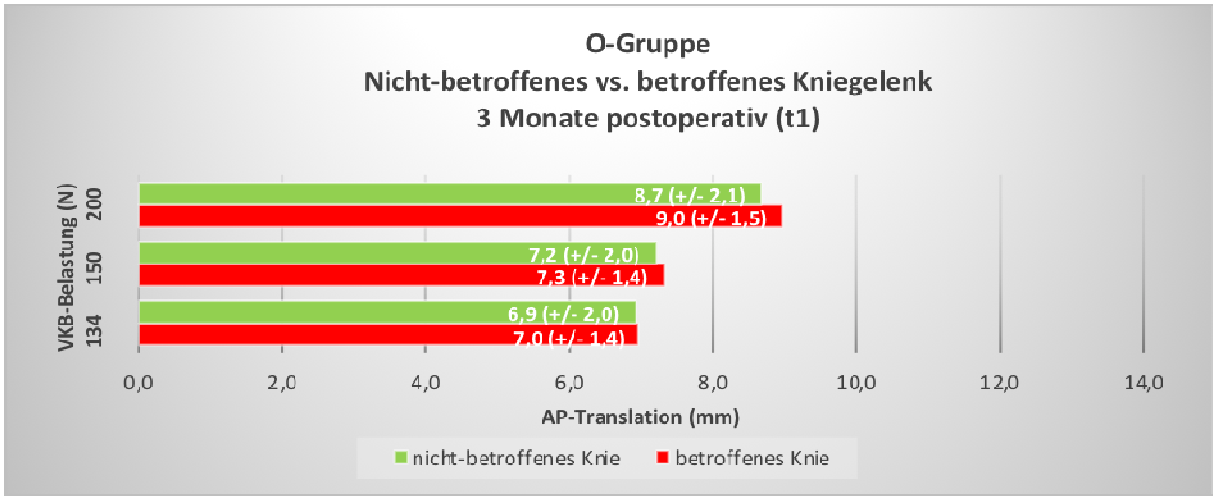


Abbildung 18: O-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t1.

In der Gruppe der Studienteilnehmer die ohne Orthese nach der vorderen Kreuzbandplastik rehabilitativ behandelt wurden (NO-Gruppe), zeigte sich präoperativ zum Zeitpunkt t0 ein Mittelwert der Translation im betroffenen Kniegelenk von 8,2 (+/- 3,0) mm bei 134 N, 8,6 (+/- 3,1) mm bei 150 N und 9,9 (+/- 3,1) mm bei 200 N eingesetzte Kraft. Die Werte für das kontralaterale nicht betroffene Kniegelenk ergaben präoperativ folgende Werte: 6,6 (+/- 2,3) mm bei 134 N, 7,0 (+/- 2,3) mm bei 150 N, und 8,3 (+/- 2,2) mm bei 200 N. Die Seit-zu-Seit Differenzen (Differenz pathologisches Knie minus gesundes, kontralaterales Knie zum Zeitpunkt t0) aller erhobenen Messwerte im Mittel zeigen sich mit 1,6 (+/- 2,3) mm bei 134 N, 1,6 (+/- 2,5) mm bei 150 N und 1,6 (+/- 2,6) mm bei 200 N.

Im postoperativen Intervall nach drei Monaten (Zeitpunkt t1) wurden am operierten Kniegelenk Mittelwerte für die Translation von 6,3 (+/- 1,6) mm bei 134 N, 6,8 (+/- 1,8) mm bei 150 N und 8,2 (+/- 1,8) mm bei 200 N eingesetzte Kraft detektiert. Das gesunde Kniegelenk wies nach drei Monaten eine gemittelte Translation von 6,9 (+/- 1,6) mm bei 134 N, 7,3 (+/- 1,6) mm bei 150

N und 8,9 (+/- 1,8) mm bei 200 N auf. Die Seit-zu-Seit Differenzen der gemessenen Werte der Translation für jede Kraftgröße zwischen operiertem Kniegelenk und gesundem, kontralateralem Knie, ergeben rechnerisch folgende Werte: -0,6 (+/- 1,5) mm bei 134 N, -0,5 (+/- 1,6) mm bei 150 N, -0,7 (+/- 1,6) mm (operiert minus gesund).

In der NO-Gruppe ließ sich somit eine mittlere Reduktion (t0 zu t1) der AP-Translationsstrecke im betroffenen Kniegelenk von -1,9 mm bei 134 N, -1,8 mm bei 150 N und -1,7 mm bei 200 N VKB-Belastung ermitteln. Bei diesen Werten handelt es sich um signifikante Verminderungen der Kniegelenkstranslation zwischen den Messzeitpunkten t0 und t1 im betroffenen Kniegelenk. (134 N: p = 0,015, 150 N: p = 0,032, 200 N: p = 0,042).

Das gesunde, kontralaterale Kniegelenk der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) zeigte im Vergleich der beiden Zeitpunkte t0 und t1 eine nicht-signifikant Translationsveränderung von +0,3 mm bei 134 N (p = 0,929) bzw. +0,3 mm bei 150 N (p = 0,864) und +0,6 bei 200 N antero-postero Belastung auf dem vorderen Kreuzband (p = 0,483).

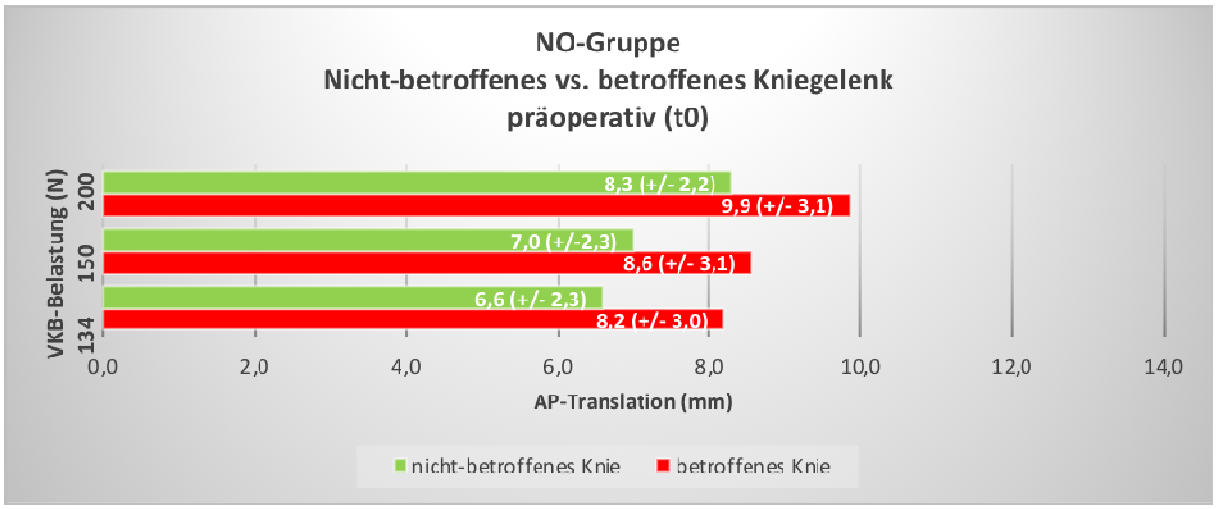


Abbildung 19: NO-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t0.

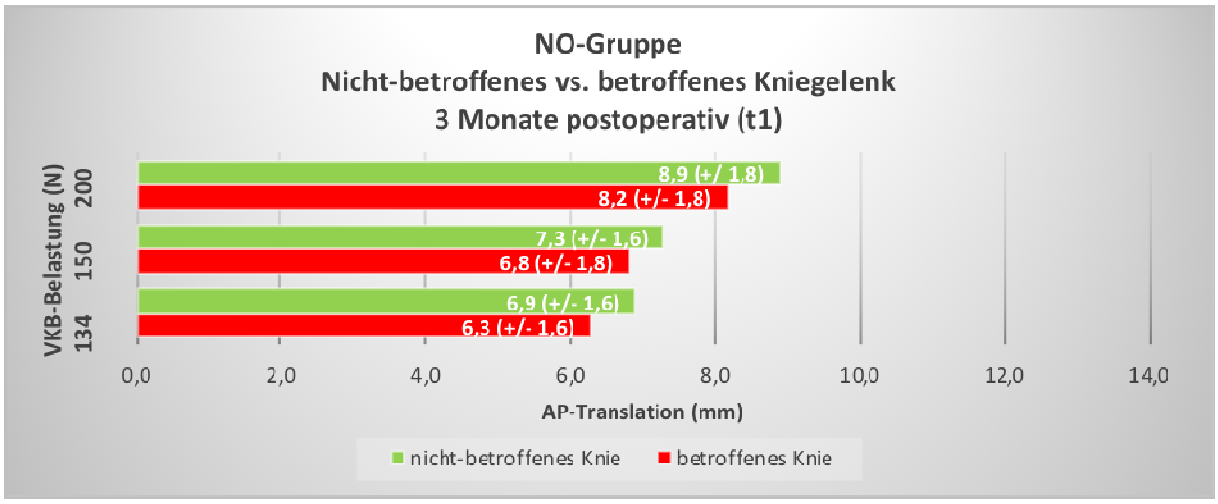


Abbildung 20: NO-Gruppenvergleich beider Extremitäten in jeder VKB-Belastungsstufe zum Zeitpunkt t1.

Arthrometrisch vergleichend stellt sich zwischen den Orthesenträgern (O-Gruppe) und den Studienteilnehmern freier Nachbehandlung (NO-Gruppe) heraus, dass zum Zeitpunkt t1 eine betragliche Differenz der Mittelwerte bei 134 N VKB-Belastung von 0,7 mm (p = 0,149, siehe Abbildung 21), 150 N VKB-Belastung von 0,5 mm (p = 0,305, siehe Abbildung 22) und 200 N VKB-Belastung von 0,8 mm (p = 0,123, siehe Abbildung 23) berechnet werden kann. Es kann somit keine signifikante Unterscheidung der zu untersuchenden Studiengruppen nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) erkannt werden. Damit besteht kein Unterschied in der translationalen Stabilität der Gruppen nach dieser Zeit. Eine vergleichende Untersuchung der Seit-zu-Seit Differenzen aller VKB-Belastungsstärken zum Zeitpunkt t1 zwischen O- und NO-Gruppe sind ebenfalls nicht signifikant (134 N: p = 0,196; 150 N: p = 0,406; 200 N: p = 0,059).

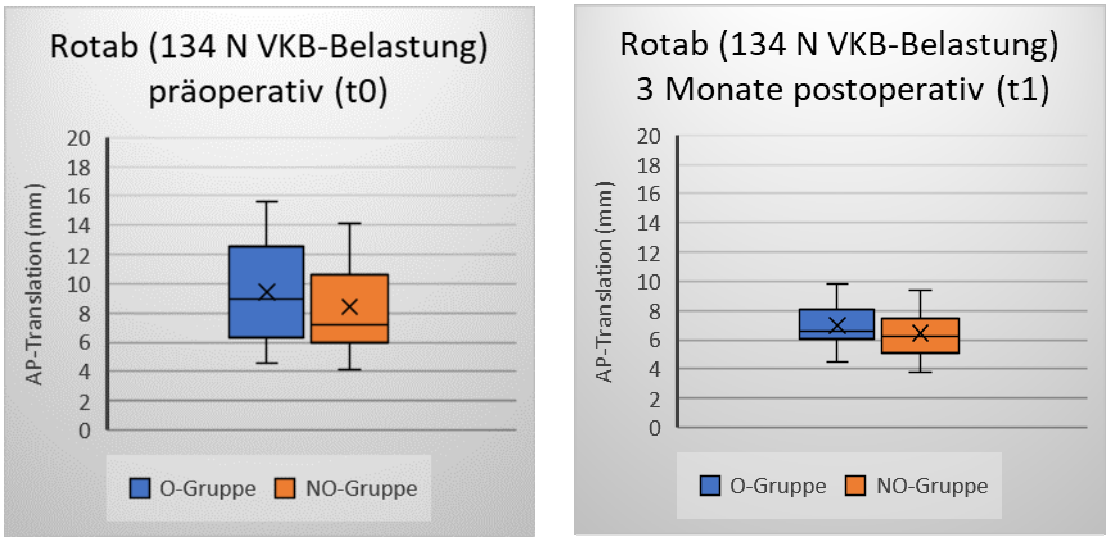


Abbildung 21: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 134 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1).

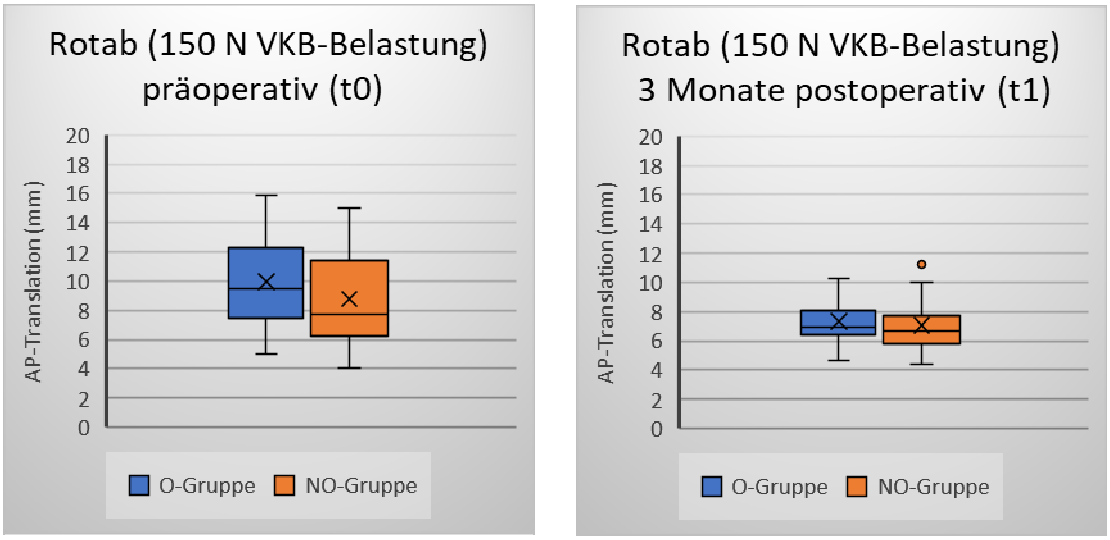
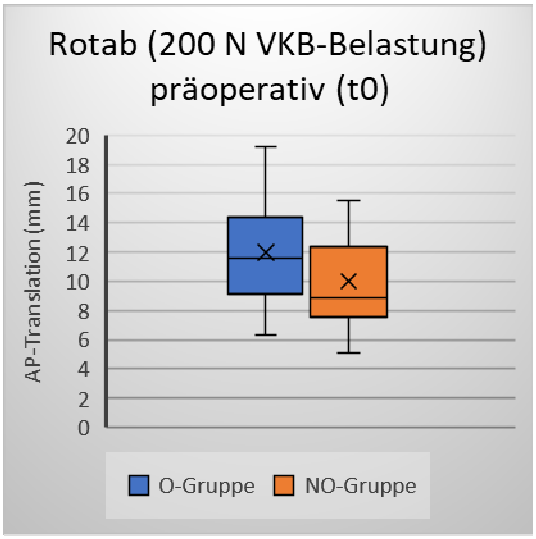


Abbildung 22: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 150 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1).



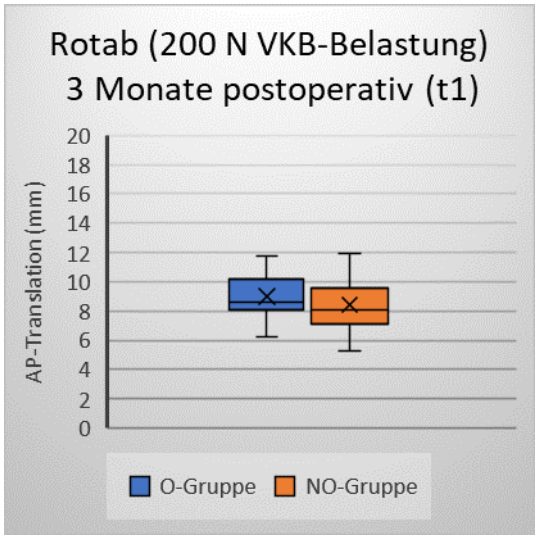


Abbildung 23: Translation des betroffenen Kniegelenks bei 200 N VKB-Belastung zum Zeitpunkt vor der OP (t0) und drei Monate danach (t1).

Präoperativ, zum Zeitpunkt t0, sind die betraglichen Differenzen der Translation im verletzten Kniegelenk zwischen O-Gruppe und NO-Gruppe mit 1,4 mm ($p = 0{,}107$) bei 134 N und 1,6 mm ($p = 0{,}072$) bei 150 errechnet worden. Es ließ sich kein präoperativ signifikanter Unterschied der beiden Gruppen im Bereich der genannten VKB-Belastungsstufen darstellen. Bei 200 N Belastung auf das verletzte vordere Kreuzband wurde jedoch eine schwach signifikante Differenz der beiden Gruppen zu jenem Zeitpunkt (t0) deutlich. Betragliche Differenz zwischen O- und NO-Gruppe bei 200 N VKB-Belastung entsprach hier 2,2 mm ($p = 0{,}019$). Die präoperativen Seit-zu-Seit-Differenzen zeigten vergleichend zwischen beiden Gruppen (O und NO) keine signifikanten Unterschiede in allen Messstärken (134 N: $p = 0{,}767$; 150 N: $p = 0{,}508$; 200 N: $p = 0{,}412$).

Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse aus der Arthrometrie (Rotab) des Betroffenen Kniegelenkes.

	PRÄOPERATIV (T0)		**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**	
ROTAB BETROFFENES KNIE (MM)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**
134 N	9,6 (± 3,3)	8,2 (± 3,0) **n. s.**	7,0 (± 1,4)	6,3 (± 1,6) **n. s.**
SEIT-ZU-SEIT DIFF.	1,9 (± 3,6)	1,6 (± 2,3) **n. s.**	0,1 (± 1,6)	-0,6 (± 1,5) **n. s.**
150 N	10,2 (± 3,5)	8,6 (± 3,1) **n. s.**	7,3 (± 1,4)	6,8 (± 1,8) **n. s.**
SEIT-ZU-SEIT DIFF.	1,9 (± 3,8)	1,6 (± 2,5) **n. s.**	0,1 (± 1,8)	-0,5 (± 1,6) **n. s.**
200 N	12,1 (± 3,7)	9,9 (± 3,1) **p = 0,019**	9,0 (± 1,5)	8,2 (± 1,8) **n. s.**
SEIT-ZU-SEIT DIFF.	2,2 (± 3,6)	1,7 (± 2,6) **n. s.**	0,3 (± 1,7)	-0,7 (± 1,6) **n. s.**
GRUPPEN-INTERNER VERGLEICH TO VS. T1	**O-Gruppe**	134 N (**p = <0,000**) 150 N (**p = <0,000**) 200 N (**p = <0,000**)	**NO-Gruppe**	134 N (**p = 0,015**) 150 N (**p = 0,032**) 200 N (**p = 0,042**)

Tabelle 4: Übersicht der Ergebnisse aus der Arthrometrie (Rotab) des Nicht-betroffenen Kniegelenkes (Seit-zu-Seit-Diff. Siehe Tbl. 3).

	PRÄOPERATIV (T0)		**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**	
ROTAB NICHT-BETROFFENES KNIE (MM)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**
134 N	7,7 (± 3,0)	6,6 (± 2,3) **n. s.**	6,9 (± 2,0)	6,9 (± 1,6) **n. s.**
150 N	8,3 (± 3,0)	7,0 (± 2,3) **n. s.**	7,2 (± 2,0)	7,3 (± 1,6) **n. s.**
200 N	9,9 (± 2,7)	8,3 (± 2,2) **n. s.**	8,7 (± 2,1)	8,9 (± 1,8) **n. s.**
GRUPPEN-INTERNER VERGLEICH TO VS. T1	**O-Gruppe**	134 N n. s. (p = 0,269) 150 N n. s. (p = 0,147) 200 N n. s. (p = 0,082)	**NO-Gruppe**	134 N n. s. (p = 0,929) 150 N n. s. (p = 0,864) 200 N n. s. (p = 0,483)

3.4 Ergebnisse der isometrischen Messung

3.4.1 Ergebnisse der Goniometrie (Winkelmessung)

Es wurden keine signifikanten Ergebnisse in der Goniometrie zu beiden Zeitpunkten im internen Seit-zu-Seit-Vergleich, sowie im Vergleich der beiden Gruppen detektiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Bei der 90° Knieflexion nach vorangegangener Demonstration erzielten die Probanden der O-Gruppe präoperativ (Zeitpunkt t0) im gesunden Kniegelenk einen mittleren Flexionsgrad von 94,7° (+/- 7,2°). Das Knie, in dem das vordere Kreuzband gerissen war, erzielte in der O-Gruppe gemittelt eine Flexion von 91,7° (+/- 9,8°). Das entspricht einer Seit-zu-Seit Differenz zwischen gesundem, kontralateralem Kniegelenk und betroffener Seite von 3,0° (+/- 7,6°) ohne Signifikanz.

Im zweiten goniometrischen Versuch, ohne zuvor eine 90° Flexion zu demonstrieren, erzielten die Probanden der Orthesengruppe (O-Gruppe) im gesunden Kniegelenk zunächst eine mittlere Flexion von 92,7° (+/- 7,4°). Danach wurde eine mittlere Flexion von 89,3° (+/- 7,5°) im pathologischen Kniegelenk eingestellt. Die Seit-zu-Seit Differenz beider Knieflexionen ergibt somit 3,4° (+/- 8,0°) ohne vorherige Demonstration einer 90° flektierten Kniegelenksstellung. Die Ergebnisse der präoperativen Goniometrie der Orthesengruppe (O-Gruppe) sind in Abbildung 24 dargestellt. Es wurde kein Signifikanzniveau erreicht.

Drei Monate nach dem Kreuzbandersatz (Zeitpunkt t1) wurde in der Gruppe der Studienteilnehmer mit Orthese nach 90° Flexionsdemonstration im gesunden Knie ein mittlerer Flexionseinstellungsversuch von 90,7° (+/- 4,7) gemessen. Das operierte Knie ließ nach Demonstration der gewünschten Flexion ebenfalls einen Mittelwert von 90,2° (+/- 8,1°) messen. Es zeigt sich dementsprechend ein Unterschied von 0,5° (+/- 7,2°) Seit-zu-Seit Differenz ohne Signifikanz.

Im zweiten Abschnitt der Goniometrie ohne vorherige Demonstration der 90° Flexion erreichten die Gruppenmitglieder im gesunden Kniegelenk eine mittlere Flexion von 92,6° (+/- 6,3°) und im betroffenem, nun operiertem Kniegelenk im Mittel eine Flexion von 88,8° (+/- 5,7°). Hierbei ergibt die Seit-zu-Seit Differenz der geforderten Flexionsmittelwerte zwischen gesundem und operierten, Knie einen Wert von 3,8° (+/- 8,6°). Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse der goniometrischen Messung in der O-Gruppe nach drei Monaten postoperativ. Es errechnet sich kein signifikanter Unterschied.

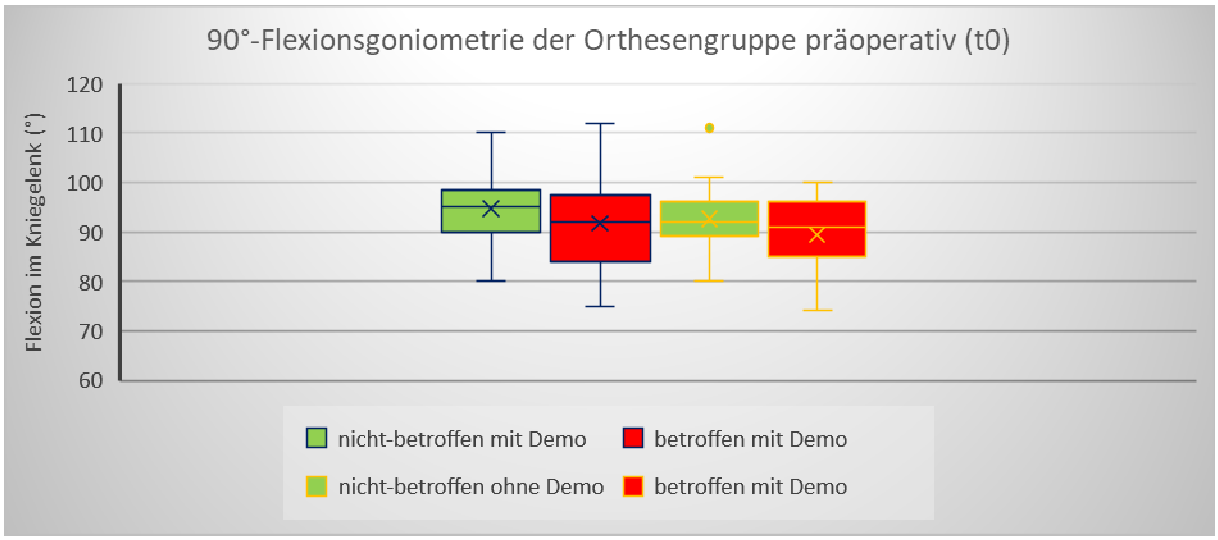


Abbildung 24: Winkelmessung (Goniometrie) in der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation(t0).

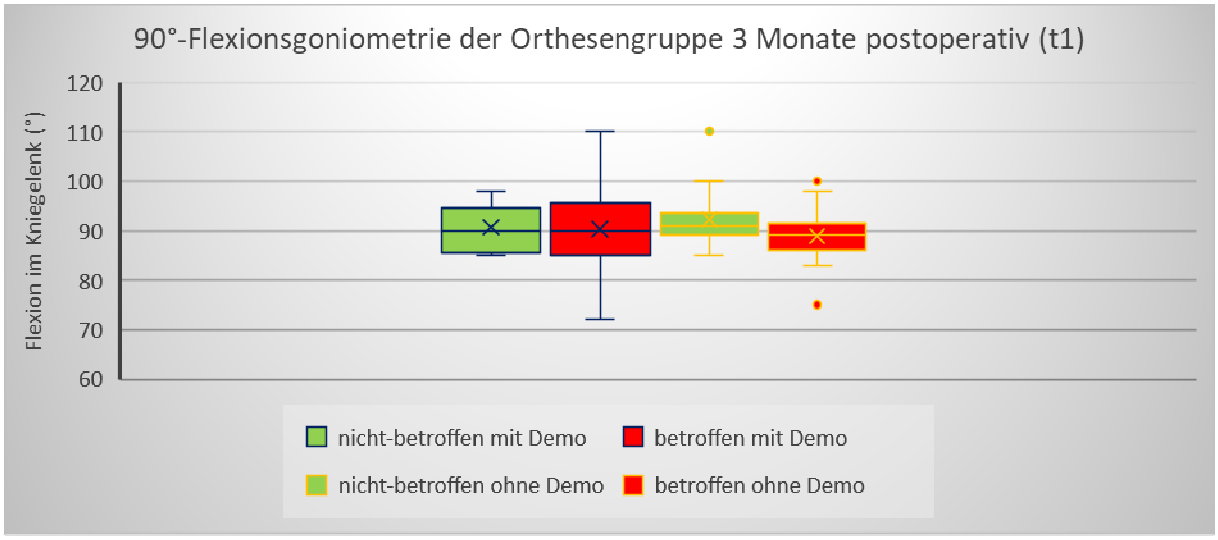


Abbildung 25: Winkelmessung (Goniometrie) in der Orthesengruppe (O-Gruppe) drei Monate nach der Operation (t1).

In der Versuchsgruppe der Probanden ohne Orthese in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik (NO-Gruppe) zeigten sich die Ergebnisse wie folgt: Präoperativ, also zum Zeitpunkt t0, wurde nach primärer Demonstration der Flexionsstellung von 90° durch den Prüfer im nicht-betroffenem Kniegelenk eine mittlere Flexion von 92,4° (+/- 4,6°) erreicht. Das betroffene Kniegelenk zeigte vor der Operation in diesem ersten Abschnitt der goniometrischen Untersuchung einen Flexionsmittelwert von 90,7° (+/- 5,2°). Dieses entspricht einer Seit-zu-Seit Differenz der Flexion von gesunder, kontralateraler zu pathologischer Kniegelenksseite von 1,5° (+/- 6,1°) ohne Signifikanz.

Im zweiten Abschnitt der präoperativen Winkelmessung, in der es galt ohne vorherige Demonstration einer 90° Flexion das Knie in die entsprechende Beugung zu bringen, ergab sich im nicht-betroffenem Kniegelenk eine gemittelte Flexion von 90,2° (+/- 4,9°) und im

betroffenen Kniegelenk ein Wert von 91,1° (+/- 6,2°) Flexionsmittelwert. Es lässt sich eine Seit-zu-Seit Differenz von -0,9° (+/- 5,8°) (Gesundes, kontralaterales minus betroffenes Knie). Abbildung 26 verdeutlicht die Ergebnisse der präoperativen Winkelmessung (Zeitpunkt t0) der NO-Gruppe, ohne Signifikanz.

Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) ließen sich bei den Studienteilnehmern mit orthesenfreier Nachbehandlung (NO-Gruppe) folgende goniometrische Mittelwerte bestimmen: Im ersten Versuchsabschnitt konnte im gesunden, kontralateralen Kniegelenk nach 90° Flexionsdemonstration eine mittlere Flexion von 91,5° (+/- 5,4°) festgestellt werden. Das nun operierte Kniegelenk nach VKB-Plastik ließ eine mittlere Flexionsstellung von 91,3° (+/- 4,7°) erkennen. Die Differenz der beiden Seiten beläuft sich zwischen kontralateralem und operiertem Kniegelenk auf 0,2° (+/- 6,3°). Es wurde eine Signifikanz berechnet.

Im zweiten goniometrischen Versuch ohne 90°-Flexionsdemonstration stellten die Probanden im nicht-betroffenen Kniegelenk eigenständig im Mittel einer Flexion von 90,3° (+/- 5,2°) ein. Am operierten Kniegelenk konnte nach orthesenfreier Nachbehandlung ein Flexionsmittelwert von 90,6° (+/- 4,0°) errechnet werden. Das entspricht einer Seit-zu-Seit Differenz vom gesunden, kontralateralem zum operierten Kniegelenk von -0,3° (+/-6,1°). In Abbildung 27 sind die Ergebnisse der Goniometrie der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) dargestellt. Das Ergebnis ist nicht signifikant.

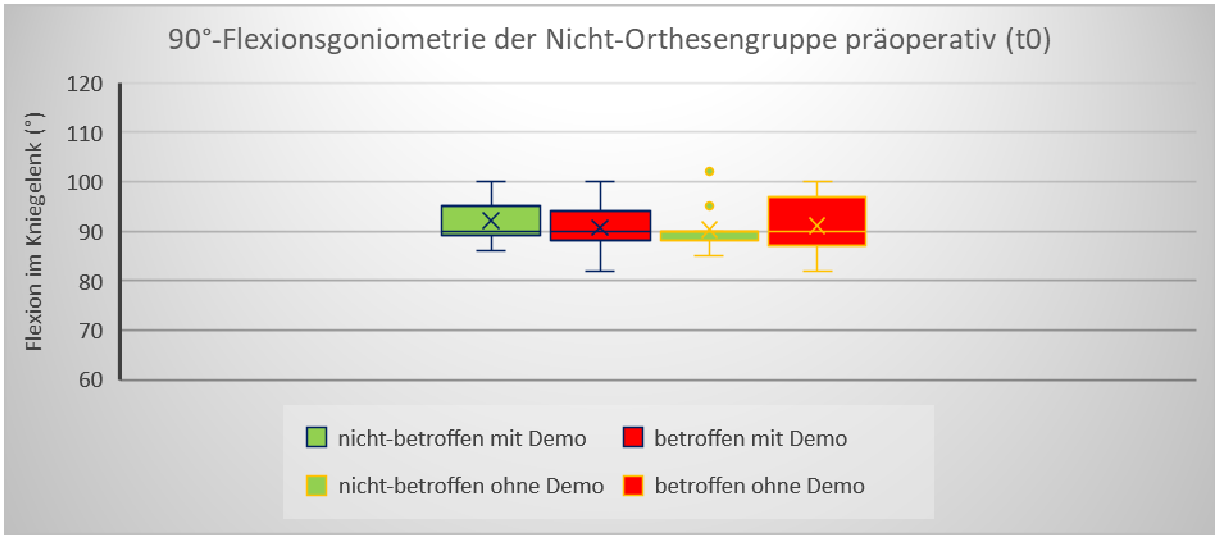


Abbildung 26: Winkelmessung (Goniometrie) in der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der OP (t0).

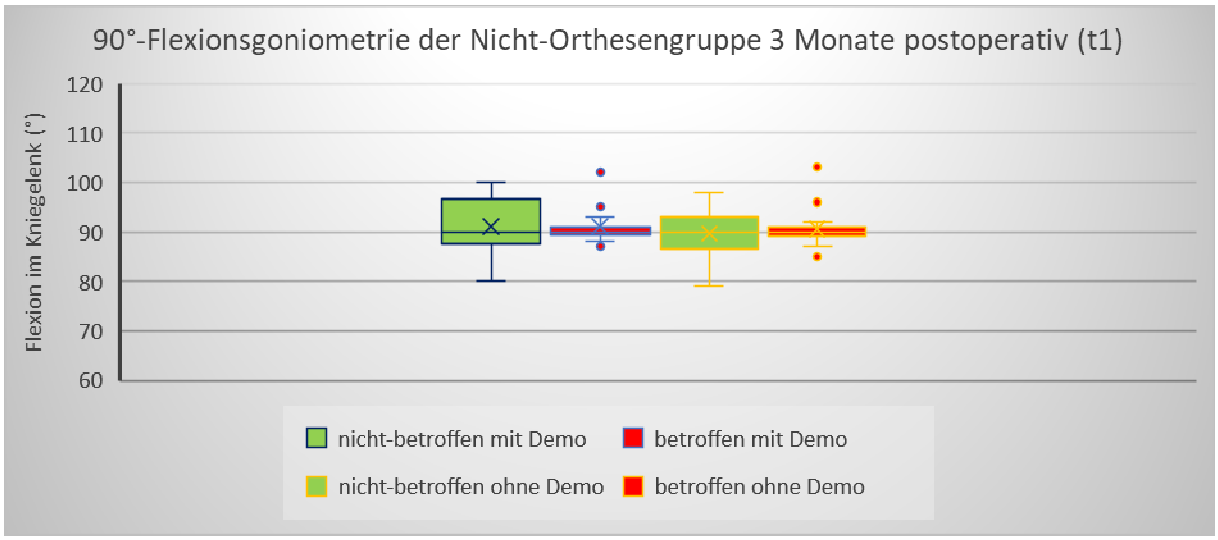


Abbildung 27: Winkelmessung (Goniometrie) in der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) drei Monate nach der Operation (t1).

Im Vergleich der Seit-zu-Seit Differenzen ergibt sich zum Zeitpunkt t1 (drei Monate nach der Operation) im ersten Teil des goniometrischen Versuches (siehe Abbildung 28a), in der eine 90° Flexion nach vorheriger Demonstration dieser Flexionsstellung eingestellt werden sollte, zwischen den beiden untersuchten Gruppen (O- und NO-Gruppe) kein isometrisch signifikanter Unterschied (p = 0,752) bei einer betraglichen Differenz von 0,3° (O zu NO). Auch im zweiten Versuchsabschnitt ohne die primäre 90°-Flexionsdemonstration konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen erkannt werden (p = 0,328, 4,1° Differenz O zu NO). Das Ergebnis ist in Abbildung 28b gezeigt.

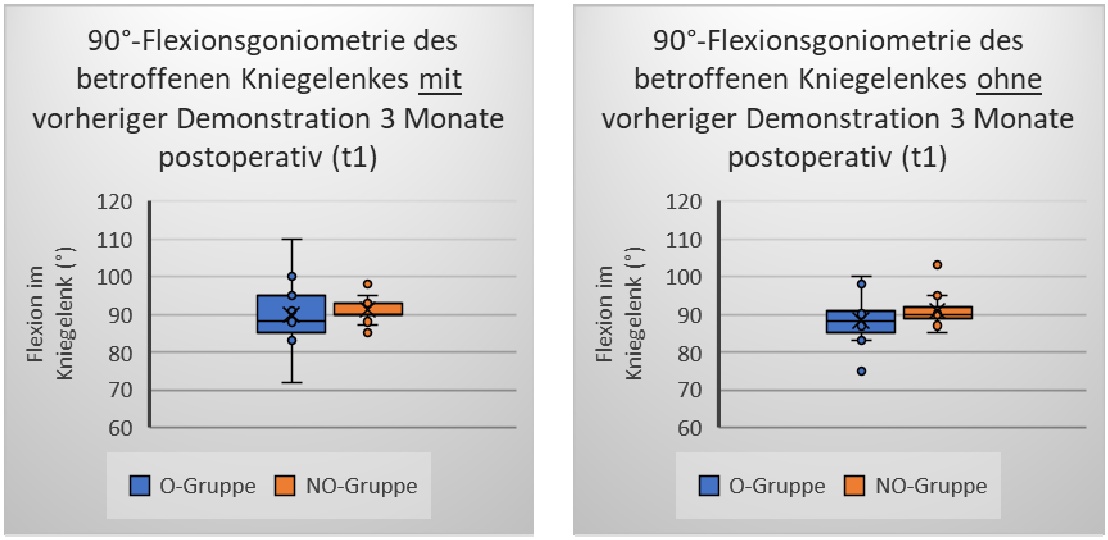


Abbildung 28: Vergleich der Winkelmessung (Goniometrie) am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe drei Monate nach der Operation (t1) mit (Abb. 28a) und ohne (Abb. 28b) vorheriger Demonstration einer 90° Flexion.

Präoperativ, zum Zeitpunkt t0, zeigte sich im direkten Vergleich der Seit-zu-Seit Differenzen beider Gruppen (O und NO) im ersten Versuchsabschnitt der 90° Flexion nach Demonstration mit einem p-Wert von 0,734 (1,5°) Differenz im Betrag zwischen O und NO) kein signifikanter Unterschied. Im zweiten Versuchsabschnitt der 90° Flexion ohne voran gegangene Demonstration wurde ebenfalls kein signifikanter Unterschied deutlich (p = 0,514; 4,3°) Differenz im Betrag zwischen O und NO).

Tabelle 5: Übersicht der Ergebnisse aus der Goniometrie.

	PRÄOPERATIV (T0)			**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**		
GONIOMETRIE (°)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**Diff.**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**	**Diff.**
MIT 90°- DEMON. *KONTRALAT.*	94,7 (± 7,2)	92,2 (± 4,6)	2,5	90,7 (± 4,7)	91,5 (± 5,4)	-0,8
MIT 90°- DEMON. BETROFFEN	91,7 (± 9,8)	90,7 (± 5,2)	1,0	90,2 (± 8,1)	91,3 (± 4,7)	-1,1
SEIT-ZU-SEIT DIFF. (KONTR.-BETR.)	3,0 (± 7,6)	1,5 (± 6,1)	1,5	0,5 (± 7,2)	0,2 (± 6,3)	0,3
OHNE 90°- DEMON. *KONTRALAT.*	92,7 (± 7,4)	90,2 (± 4,9)	2,5	92,6 (± 6,3)	90,3 (± 5,2)	2,3
OHNE 90°- DEMON. BETROFFEN	89,3 (± 7,5)	91,1 (± 6,2)	-1,8	88,8 (± 5,7)	90,6 (± 4,0)	-1,8
SEIT-ZU-SEIT DIFF. (KONTR.-BETR.)	3,4 (± 8,0)	-0,9 (± 5,8)	4,3	3,8 (±8,6)	-0,3 (± 6,1)	4,1
VERGLEICH D. BETROFFENEN EXTREMITÄTEN (PRÄ. VS. POST.)	**mit** 90°-Demon. n. s. (p = 0,734)	**ohne** 90°-Demon. n. s. (p = 0,514)		**mit** 90°-Demon n. s. (p = 0,752)	**ohne** 90°-Demon. n. s. (p = 0,328)	

3.4.2 Ergebnisse der *Balance-Board*-Versuche

In der Gruppe der Studienteilnehmer mit Orthese (O-Gruppe) erreichten alle Probanden im Mittel präoperativ (Zeitpunkt t0) beim Standhalteversuch des zunächst nicht-betroffenen Beines eine Erfolgsrate von 86,0 % (+/- 24,8; 51,6 Sekunden). Der Versuch am betroffenen Bein ergab zu jenem Zeitpunkt t0 eine gemittelte Erfolgsrate von 75,9 % (+/- 31,0; 45,5 Sekunden). Das ergibt eine Seit-zu-Seit Differenz von 10,1% (+/-22,9) (nicht-betroffen zu pathologisch; 6,1 Sekunden).

Nach drei Monaten, also zum Zeitpunkt t1, wurde in der O-Gruppe am zunächst nicht-betroffenem, kontralateralem Bein eine *Balance-Board*-Erfolgsrate von im Mittel 93,1 % (+/- 18,6; 55,9 Sekunden) ermittelt. Das nun am vorderen Kreuzband operierte Bein ließ einen Mittelwert der Erfolgsrate von 96,5 % (+/- 11,0; 57,9 Sekunden) zu erkennen. Die Differenz der beiden Seiten (operiertes minus nicht betroffenes, kontralaterales Kniegelenk) lässt sich mit -3,4 % (+/- 22,6; entspricht 2,0 Sekunden) ermessen. In Abbildung 29 werden die beschriebenen Ergebnisse dargestellt. Eine Stand- bzw. Balancezeitverbesserung des betroffenen Kniegelenks vom Zeitpunkt t0 zu t1 von +20,6%, also 12,4 Sekunden, innerhalb der O-Gruppe ist signifikant (p = 0,016).

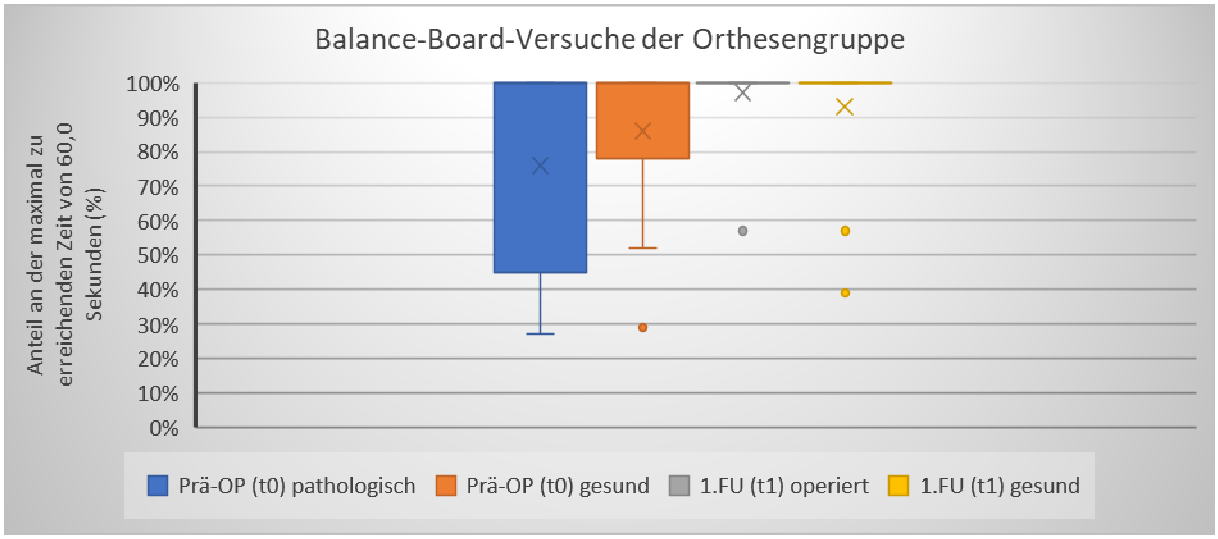


Abbildung 29: *Balance-Board*-Versuche beider Extremitäten der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach(t1).

Die Probanden ohne Ortheseneinsatz (NO-Gruppe) im Nachbehandlungsschema der VKB-Plastik zeigten zum Zeitpunkt t0 (präoperativ) einen Erfolgsratenmittelwert von 100,0 % (+/- 0; 60,0 Sekunden) auf dem *Balance-Board* mit dem nicht betroffenen Bein und 95,8 (+/- 15,3; 57,5 Sekunden) mit der zu untersuchenden Seite mit vorderen Kreuzbandruptur. Es ergibt sich ein

Unterscheid der beiden Seiten von -4,2 % (+/- 15,3; pathologisches minus nicht-betroffenes (kontralaterales) Kniegelenk; -2,5 Sekunden).

Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) ließ sich in der NO-Gruppe auf der nicht-betroffenen Seite eine durchschnittliche Erfolgsrate von 92,5 % (+/- 23,7; 55,5 Sekunden) bestimmen. Die Messung am operierten Bein ergab einen Mittelwert von 100,0 % (+/- 0; 60,0 Sekunden der maximalen Gesamtzeit auf dem *Balance-Board*. Dadurch wird eine Seit-zu-Seit Differenz von 7,5 % (+/- 23,7; operiertes zu nicht-betroffenes, kontralaterales zu Kniegelenk; 4,5 Sekunden) ersichtlich. Die Ergebnisse der *Balance-Board*-Versuche aus der NO-Gruppe werden in Abbildung 30 gezeigt. Eine Veränderung der Stand- bzw. Balancezeit von Zeitpunkt t0 zum Zeitpunkt t1 innerhalb der NO-Gruppe von +4,2%, also 2,5 Sekunden, gilt als nicht signifikant (p = 0,369).

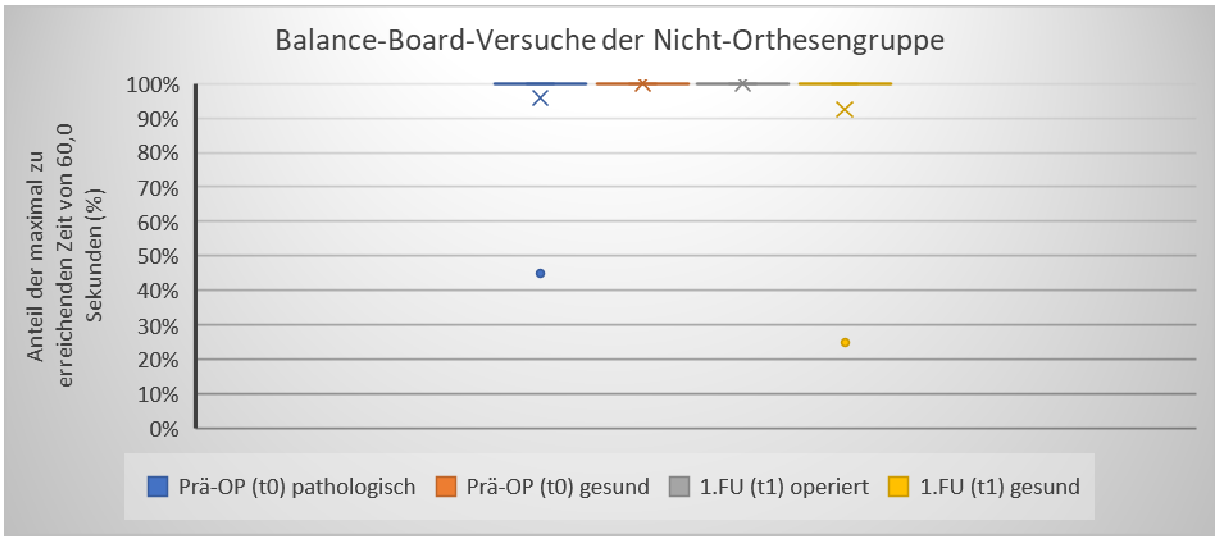


Abbildung 30: *Balance-Board*-Versuche beider Extremitäten der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach(t1).

Vergleicht man die Ergebnisse der beiden Studiengruppen, so wird deutlich, dass zum Zeitpunkt t1, drei Monate nach vorderer Kreuzbandplastik, eine mittlere Differenz von 3,5 % der maximalen Gesamtzeit von 60 Sekunden zugunsten der Patienten ohne Orthesennachbehandlung auf dem *Balance-Board* zu verzeichnen war. Das entspricht einer mittleren Zeitverbesserung von 2,1 Sekunden längerer Standzeit der NO-Probanden und ist nicht signifikant (p = 0,223; Vergleiche Abbildung 31b)

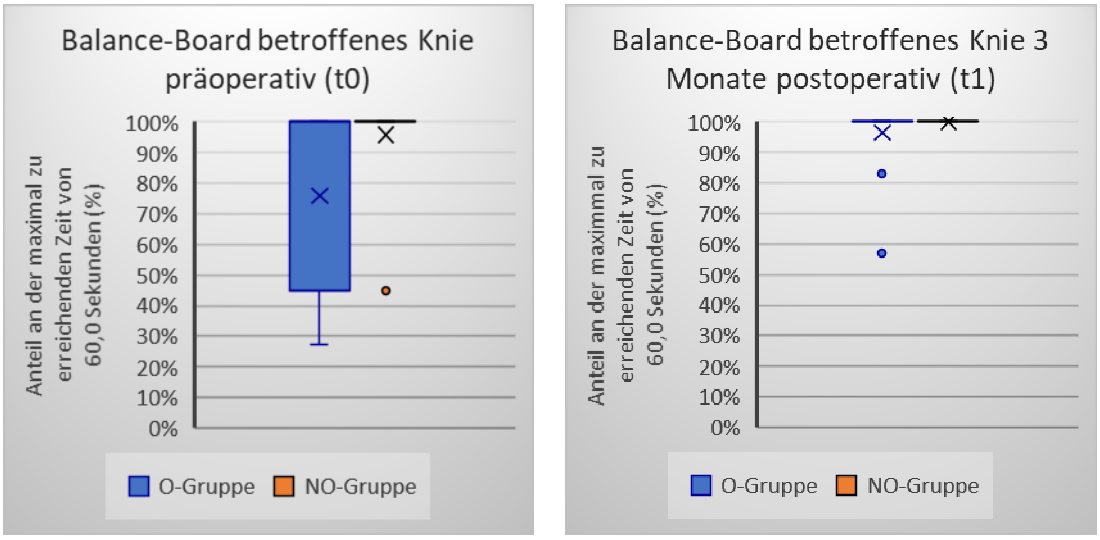


Abbildung 31: Vergleich der *Balance-Board*-Versuche am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe vor der Operation (t0, Abb. 31a) und drei Monate danach (t1, Abb. 31b).

Präoperativ war die Differenz der Probanden späterer orthesenverbundener- bzw. orthesenfreier Nachbehandlung des verletzen Kniegelenkes auf dem *Balance-Board* mit einem Mittelwert von + 19,9% (Zugunsten der NO-Gruppe) signifikant (p = 0,047. Vergleiche Abbildung 31a). Es handelte sich damit um eine mittlere Zeitverbesserung von +11,9 Sekunden für die Nicht-Orthesengruppe in der präoperativen Messung auf dem Board.

Tabelle 6: Übersicht der Ergebnisse aus den *Balance-Board*-Versuchen.

	PRÄOPERATIV (T0)		**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**	
BALANCE-BOARD (%)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**
BETROFFEN	75,9 (± 31,0)	95,8 (± 15,3)	96,5 (± 11,0)	100,0 (± 0,0)
KONTRALATERAL	86,0 (± 24,8)	100,0 (± 0,0)	93,1 (± 18,6)	92,5 (± 23,7)
SEIT-ZU-SEIT DIFF. (BETR.-KONTR.)	-10,1 % (± 22,9)	-4,2 % (± 15,3)	3,4 % (± 22,6)	7,5 % (± 23,7)
ZEITLICHE DIFFERENZ	-6,1 Sek.	-2,5 Sek.	+2,0 Sek.	+4,5 Sek.
INTERPRETATION	Schlechter als nicht-betroffene Seite	Schlechter als nicht-betroffene Seite	Besser als nicht-betroffene Seite	Besser als nicht-betroffene Seite
SIGNIFIKANZ	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
VERGLEICH D. BETROFFENEN EXTREMITÄTEN (PRÄ. VS. POST.)	**O-Gruppe** + 20,6 % → +12,4 Sek.	 signifikant p = 0,016	**NO-Gruppe** + 4,2 % → +2,5 Sek.	 n. s. p = 0,369
VERGLEICH D. BETROFFENEN EXTREMITÄTEN (O VS. NO)	**O vs. NO t0** +19,9 % für NO → +11,9 Sek.	 signifikant p = 0,046	**O vs. NO t1** +3,5 % für NO → +2,1 Sek.	 n. s. p = 0,223

3.4.3 Ergebnisse der einbeinigen Romberg-Stehversuche

Die Ergebnisse des einbeinigen Romberg-Stehversuches stellen sich als sowohl im gruppeninternen Vergleich, sowie im Vergleich der beiden Studiengruppen als nicht signifikant heraus. Alle Ergebnisse dieses Versuches sind in Tabelle 4 illustriert.

In der Gruppe der Orthesenträger (O-Gruppe) wurde präoperativ (Zeitpunkt t0) sich eine Differenz von -16,4% (+/- 0,3; pathologisch zu nicht-betroffen, kontralateral; -9,8 Sekunden) bezogen auf die gemittelten Erfolgsraten, ohne Signifikanz, detektiert.

Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) wurde in der O-Gruppe eine Mittelwertdifferenz von -3,0% (+/- 0,2; operiert zu nicht-betroffen, kontralateral; -1,8 Sekunden) gemessen. Ebenfalls nicht signifikant. Die Abbildung 32 verdeutlicht das Ergebnis aller Messungen aus dem einbeinigen Romberg-Stehversuch der O-Gruppe, in der eine nicht signifikante Verbesserung der Standzeit mit dem betroffenen Kniegelenk berechnet wurde (p = 0,114).

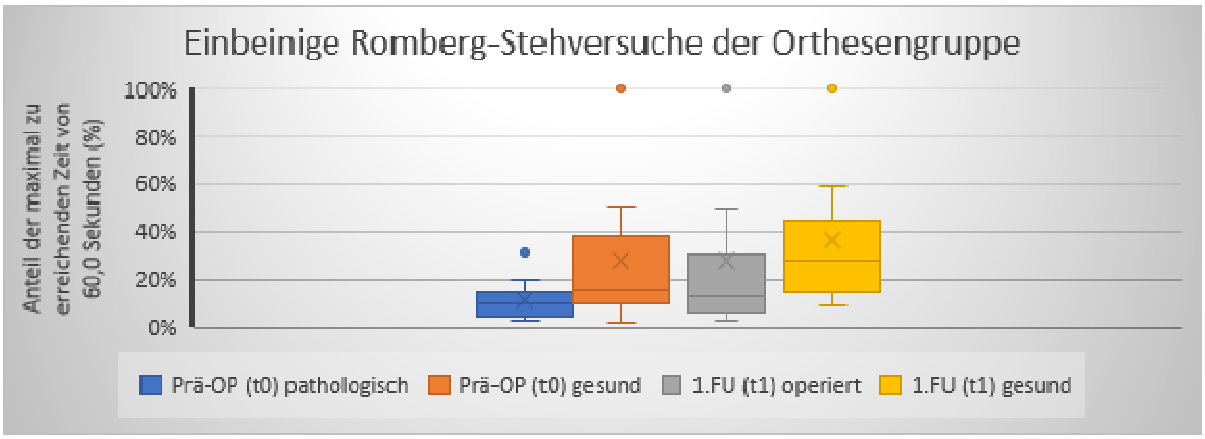


Abbildung 32: Einbeiniger Romberg-Stehversuch beider Extremitäten der Orthesengruppe (O-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

Die Versuchsgruppe mit den Studienteilnehmern der freien Nachbehandlung (NO-Gruppe) erreichte zum präoperativen Studieneintritt (Zeitpunkt t0) eine Differenz von -26,8% (+/- 47,6) (pathologisch zu nicht-betroffen, kontralateral; -16,1 Sekunden). Es wurde keine Signifikanz errechnet. In Anknüpfung an die präoperative Untersuchung erzielten die Studienteilnehmer der freien Nachbehandlung (NO-Gruppe) nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) eine Differenz der beiden Mittelwerte zwischen nicht-betroffen und operiert ergibt -6,9% (+/- 38,8; operiert zu nicht-betroffen, kontralateral; -4,1 Sekunden). In Abbildung 33 sind die Ergebnisse der NO-Gruppe aus allen einbeinigen Romberg-Stehversuchen gezeigt. Die Differenz der Standzeit vom Zeitpunkt t0 zum Zeitpunkt t1 mit der betroffenen Extremität innerhalb der NO-Gruppe ist nicht signifikant (p = 0,169).

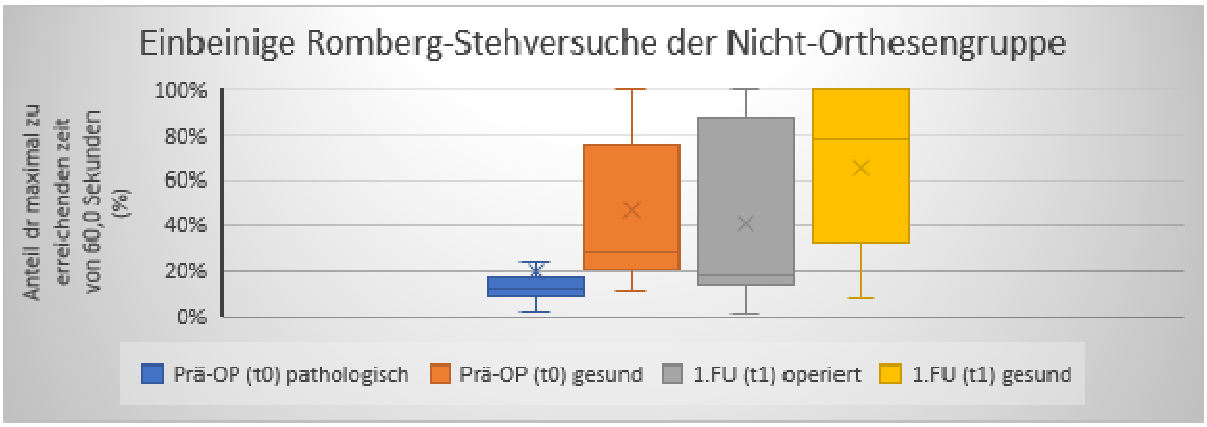


Abbildung 33: Einbeiniger Romberg-Stehversuch beider Extremitäten der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) vor der Operation (t0) und drei Monate danach (t1).

Beim Vergleich der beiden Studiengruppen wurde im *Follow-Up* drei Monate nach vorderer Kreuzbandplastik, also zum Zeitpunkt t1 (siehe Abbildung 34b), eine mittlere Differenz der Zeit im Romberg-Stehversuch von +13,1 % der maximalen Versuchszeit mit der operierten Seite zugunsten der NO-Gruppe festgestellt. Die Differenz ist nicht signifikant (p = 0,36) und entspricht einer realen Zeitdifferenz von +7,9 Sekunden. Präoperativ zum Zeitpunkt t0 (siehe Abbildung 34a) ist eine gemittelte Romberg-Stehversuch-Differenz des betroffenen Beines von +8,6 % der hier maximal zu erreichenden Zeit zwischen der O- und der NO-Gruppe und zugunsten der NO-Gruppe erfasst worden. Das bedeutet, dass vor der Operation am vorderen Kreuzband die Nicht-Orthesenträger eine Stehversuchszeit von +5,2 Sekunden länger haben, als die Probanden der Orthesengruppe. Dieser Unterschied ist nicht signifikant (p = 0,332).

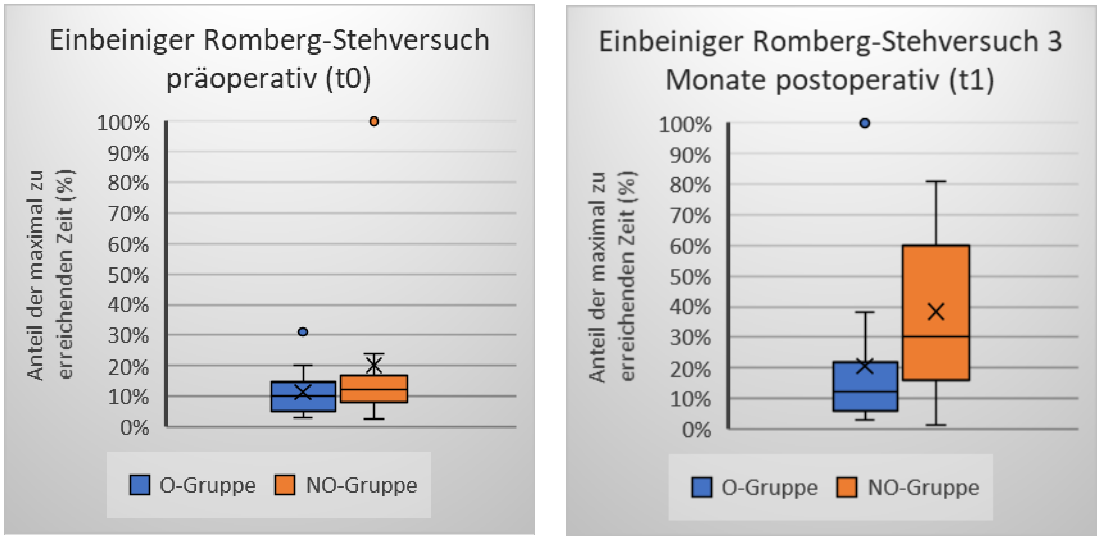


Abbildung 34: Vergleich des einbeinigen Romberg-Stehversuches am betroffenen Kniegelenk von O- und NO-Gruppe vor der Operation (t0, Abb. 34a) und drei Monate danach (t1, Abb. 34b).

Tabelle 7: Übersicht der Ergebnisse aus den einbeinigen Romberg-Stehversuchen.

	PRÄOPERATIV (T0)		**3 MONATE POSTOPERATIV (T1)**	
ROMBERG (%)	**O (n = 26)**	**NO (n = 24)**	**O (n = 23)**	**NO (n = 20)**
BETROFFEN	11,5 (± 8,6)	20,1 (± 27,2)	27,8 (± 32,1)	40,9 (± 41,1)
KONTRALATERAL	27,9 (± 28,6)	46,9 (± 35,8)	30,8 (± 25,1)	47,8 (± 36,2)
SEIT-ZU-SEIT DIFF. (BETR.-KONTR.)	-16,4% (±0,3)	-26,8% (±47,6)	-3,0% (± 0,2)	-6,9% (±38,8)
ZEITLICHE DIFFERENZ	-9,8 Sek.	-16,1 Sek.	-1,8 Sek.	-4,1 Sek.
INTERPRETATION	Schlechter als nicht-betroffene Seite	Schlechter als nicht-betroffene Seite	Schlechter als nicht-betroffene Seite	Schlechter als nicht-betroffene Seite
SIGNIFIKANZ	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
VERGLEICH D. BETROFFENEN EXTREMITÄTEN (PRÄ. VS. POST.)	**O-Gruppe** +16,3% → +9,8 Sek.	 n. s. p = 0,114	**NO-Gruppe** +20,8% → +12,5 Sek.	 n. s. p = 0,169
VERGLEICH D. BETROFFENEN EXTREMITÄTEN (O VS. NO)	**O vs. NO t0** +8,6% für NO → +5,2 Sek.	 n. s. p = 0,332	**O vs. NO t1** +13,1% für NO → +7,9 Sek.	 n. s. p = 0,36

3.5 Zusammenfassung und Auswertung der Ergebnisse

In den klinischen Scores zeigten sich unterschiedliche Ergebnisse. Präoperativ zum Zeitpunkt t0 ergab der Vergleich der beiden Gruppen (O und NO) im *Knee Society Subscore* „Knie" (KSSK p = 0,407), *Knee Society Subscore* „Funktion" (KSSF p = 0,297), sowie in der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung (NAS p = 0,441) keine signifikanten Unterschiede. Im *Oxford Knee Score* wurden präoperativ signifikant bessere Durchschnittswerte für die Orthesengruppe aufgezeigt (OKS p = 0,004). Beim Tegner-Aktivitätslevel zeigte sich eine signifikant bessere Konstitution der Nicht-Orthesengruppe zum Zeitpunkt t0 (TAS p = <0,001). Postoperativ zum Zeitpunkt t1 ergab der Vergleich beider Gruppen (O und NO) im *Knee Scociety Subscore* „Knie" (KSSK p = 0,07), *Oxford Knee Score* (OKS p = 0,179), Tegner-Aktivitätslevel (TAS p = 0,051) und in der numerischen Ratingskala zur Schmerzerfassung (NRS p = 0,618) keine signifikanten Unterschiede. Eine Signifikanz ergab sich im *Knee Society Subscore* „Funktion" (KSSF p = 0,022) nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) zugunsten der Probanden ohne Orthesenbehandlung nach vorderer Kreuzbandplastik. Dort zeigte sich in der O-Gruppe ein Punktwert von 97,4 (+/- 4,4) und ein Punktwert von 100 (+/- 0,1) in der NO-Gruppe. Tabelle 2 zeigt alle Daten und Signifikanzen aus den Scores.

Im einbeinigen Romberg-Stehversuch wurden im Vergleich der beiden Versuchsgruppen (O und NO), sowie im gruppeninternen Vergleich der beiden Zeitpunkte (t0 und t1) und in der Analyse der Seit-zu-Seit-Differenzen zu keinem Zeitpunkt signifikante Differenzen detektiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 illustriert.

Die *Balance-Board*-Versuche mit betroffener Extremität zeigten zum präoperativen Zeitpunkt t0 im Vergleich der beiden Versuchsgruppen signifikant bessere Werte der Nicht-Orthesenträger mit einer längeren Standzeit auf dem *Balance-Board* von +11,9 Sekunden (19,9 % der maximalen Gesamtzeit von 60 Sekunden) im Vergleich zur O-Gruppe (p = 0,046). Im internen Vergleich der Gruppen zeigte sich in beiden Gruppen eine Verbesserung der gemittelten Zeiten auf dem *Balance-Board* bei der Analyse von Veränderungen zwischen dem prä- und dem postoperativen *Follow-Up* nach drei Monaten. (+20,6 % bzw. 12,4 Sekunden in der O-Gruppe; +4,2 % bzw. 2,5 Sekunden in der NO-Gruppe). Innerhalb der Orthesengruppe war die Verbesserung der Standzeit auf dem *Balance-Board* signifikant (p = 0,016). Eine verbesserte Standzeit der NO-Gruppe zeigte sich nicht signifikant (p = 0,369) Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) ergab sich eine mittlere, jedoch nicht signifikante Verbesserung von +3,5 % (+2,1 Sekunden) der NO-Gruppe im Vergleich zu den Nicht-Orthesenträgern auf dem *Balance-Board* (p = 0,223).

In der goniometrischen Messung wurden in beiden Versuchsteilen, sowie im gruppeninternen Vergleich und im Seit-zu-Seit-Vergleich zu keinem Zeitpunkt (t0 oder t1) signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Im Rahmen der Kniegelenksstabilitätsmessung mit dem Rotab Arthrometer ergaben sich präoperativ (Zeitpunkt t0) keine signifikanten Unterschiede in der Instabilität beider Subgruppen bei 134 und 150 N Translationsbelastung auf dem betroffenen Kniegelenk. Es wurden durchschnittliche Differenzbeträge der translationalen Instabilitäten von 1,4 mm (p = 0,107) bei 134 N und 1,6 mm (p = 0,072) bei 150 N VKB-Belastung zwischen beiden Gruppen gemessen. Ein signifikanter Unterschied wurde bei 200 N VKB-Belastung deutlich. Hier zeigte sich eine gemittelte Differenz von 2,2 mm zugunsten der NO-Gruppe (p = 0,019). Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied im Vergleich der Seit-zu-Seit-Differenzen in beiden Gruppen (134 N: p = 0,767; 150 N: p = 0,508; 200 N: p = 0,412). Drei Monate nach der Operation (Zeitpunkt t1) konnten in der Gruppe der Orthesenträger (O-Gruppe) folgende Translationsdifferenzen vom Zeitpunkt t0 zu t1 ermittelt werden: -2,6 mm bei 134 N,- 2,9 mm bei 150 N und -3,1 mm bei 200 N VKB-Belastung. Diese Verbesserungen der Translationstabilität in allen drei VKB-Belastungsstufen zeigten sich signifikant (134 N (p = <0,000), 150 N (p = <0,000) und 200 N VKB-Belastung (p = <0,000)). In der Gruppe der Orthesen-freien Nachbehandlung nach vorderer Kreuzbandplastik konnten ebenfalls signifikante Verbesserung der translationalen Stabilität im Vergleich der Zeitpunkte t0 zu t1 verzeichnet werden. Die Mittelwertsdifferenzen ergaben -1,9 mm bei 134 N (p = 0,015), -1,8 mm bei 150 N (p = 0,032) und -1,7 mm bei 200 N (p = 0,042). Nach drei Monaten postoperativ wurden keine signifikanten Unterscheide im Vergleich der O-Gruppe mit NO-Gruppe gemessen. In jeder VKB-Belastungsstufe der Rotab Arthrometrie waren die Differenzen der jeweiligen Durchschnittswerte als nicht signifikant zu werten. Die Werte erreichen bei 134 N VKB-Belastung mit 0,7 mm (p = 0,149), 150 N VKB-Belastung mit 0,5 mm (p = 0,305) und 200 N VKB-Belastung mit 0,8 mm (p = 0,123) kein Signifikanzniveau. Auch die Analyse der Seit-zu-Seit Differenzen in allen VKB-Belastungsstufen im Vergleich der beiden Studiengruppen zeigt nach drei Monaten postoperativ keinen signifikanten Unterschied (134 N: p = 0,196; 150 N: p = 0,406; 200 N: p = 0,059). Die Daten befinden sich gesammelt in Tabelle 3.

Zusammengefasst fanden sich signifikante Unterschiede im postoperativen Vergleich des *Knee Society* Funktionsscore (KSSF) zugunsten der Nicht-Orthesengruppe. Die Arthrometrie detektierte signifikant unterschiedliche Ergebnisse im gruppeninternen Vergleich der beiden Messzeitpunkte t0 und t1 (Erhöhung der Stabilität). Auch im Rahmen der *Balance-Board* Versuche konnte in der O-Gruppe eine Signifikanz des prä-OP-post-OP Vergleiches aufgezeigt werden.

Präoperative Vergleich mit signifikantem Ergebnis im *Oxford Knee Score* (OKS) zugunsten der O-Gruppe, sowie im Tegner-Aktivitätslevel zugunsten der NO-Gruppe gilt es ebenso zu diskutieren, wie signifikante Unterschiede mit Vorteil der NO-Gruppe im Vergleich der betroffenen Extremität beim *Balance-Board*-Versuch.

4. Diskussion

4.1 Zusammenfassung der allgemeinen Daten- und Studienlage

In Anbetracht der noch nicht ausreichenden Datenlage richtet sich das Rehabilitationsschema nach einem arthroskopischen Eingriff am vorderen Kreuzband im klinischen Alltag in der Regel nach dem Standard einer Klinik oder der Erfahrung des Operateurs. Die Frage nach dem Stellenwert einer Orthese in der Nachbehandlung der vorderen Kreuzbandplastik wird jedoch als Thema der rekonstruktiven Kniegelenkchirurgie vielfach beleuchtet und ist Teil gegenwärtiger Studien. Ein klarer Konsens wurde bisweilen nicht gefunden (Birmingham et al. 2008; Brandsson et al. 2001; Kruse et al. 2012; Mariani et al. 2013; Mayr et al. 2014; McDevitt et al. 2004; Pezzullo und Fadale 2010). Lediglich punktuell wird in einigen Studien eine Tendenz zu einer der Nachbehandlungsalternativen in Bezug auf spezielle Fragestellungen, wie zum Beispiel der Frage nach Schmerzen, Stabilität oder Propriozeption herausgearbeitet. Betrachtet man diese Studienergebnisse, so fallen jedoch wichtige Faktoren auf, welche das Ergebnis sehr wahrscheinlich beeinflussen. Darunter zählt vor allem das verwendete Transplantat, die Operationstechnik, das Patientenkollektiv und der betrachtete Zeitpunkt nach vorderer Kreuzbandplastik. Erstgenanntes scheint den größten Einfluss zu haben, da mit der Auswahl des Transplantates auch die Operationstechnik gewählt wird und daher unterschiedliche postoperative Morbiditäten (*doner site morbidity*) auftreten können (Strobel und Zantop 2014).

Es ist anzunehmen, dass der Faktor des Transplantates und die damit verbundene Operationstechnik das Ergebnis der Rehabilitation beeinflusst. Somit sind die Ergebnisse unserer Studie mit denen anderer Studien mit anderem Transplantat zwar in Teilen zu vergleichen, jedoch ebenso kritisch zu hinterfragen. Zunächst sollte dabei herausgestellt sein, dass das in unserer Studie verwendete Transplantat der Semitendinosus- bzw. Gracilissehne in verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten Vorteile gegenüber den vor Jahren noch häufiger verwendeten Patellarsehnentransplantaten hat. Ein bereits einleitend erwähnter Grund hierfür ist die verringerte Entnahmemorbidität bei der Nutzung der Semitendinosussehne (Gobbi et al. 2005; Papastergiou et al. 2006; Segawa et al. 2002), die bei Patellarsehnentransplantaten aufgrund der Mitnahme eines Knochenblocks deutlich erhöht ist (Duquin et al. 2009; Kartus et al. 1997; Keays et al. 2007; Miller et al. 1999; Paulos et al. 1983; Peterson et al. 2001). In Europa hat sich mittlerweile die Verwendung des Semitendinousus-/Gracilistransplantates und die damit verbundene Operationstechnik durchgesetzt, während in den USA die Patellarsehne noch

verbreiteter ist (Duquin et al. 2009; Farber et al. 2014) und damit auch die Studienlage zum größten Teil auf diesem Transplantat beruht. Häufig verglichene Studien zu diesem Thema, verwendeten bei ihren Probandanden oftmals die Patellarsehne (Brandsson et al. 2001; Harilainen und Sandelin 2006; Mayr et al. 2014; Risberg et al. 1999). Auf Seiten der Semitendinosus-/Gracilistransplantate fehlt es weiterhin an Studienmasse (Birmingham et al. 2001, 2008).

Zum Thema Patientenkollektiv lässt sich folgendes herausarbeiten: Mit insgesamt 50 aufgenommenen Teilnehmern und der Aufteilung von 26 Probanden in die Orthesengruppe, sowie 24 Probanden in die Nicht-Orthesengruppe, wurde in dieser Studie ein ausgeglichenes präoperatives Gruppenverhältnis mit einer akzeptablen Teilnehmerstärke für jede Gruppe erarbeitet. Aufgrund einer *Drop-out* Rate von 14% ergibt sich postoperativ eine geringere Gesamtteilnehmerstärke von insgesamt 43 Probanden (86,0 % der präoperativ evaluierten Personen), welche in ein vergleichbares Gruppenverhältnis von 53,5 % (O-Gruppe) zu 46,5 % (NO-Gruppe) unterteilt ist.

Das Geschlechterverhältnis wies mit einem 66% ein Übergewicht der männlichen Teilnehmer gegenüber 34% weiblicher Teilnehmer. Dieses Verhältnis gleicht dem anderer Studien, in denen ebenfalls vermehrt männlicher Teilnehmer zu verzeichnen waren, da die Mehrzahl der Sportarten im Männerbereich Kontaktsportarten mit einem allgemein höheren Verletzungsrisiko sind (Brandsson et al. 2001; Denti et al. 2000; Kartus et al. 1997; Harter et al. 1988; Kuster et al. 1999; Muellner et al. 1998). Wenige Studien können ein annähernd gleiches Geschlechterverhältnis in den Studiengruppen erzeugen (Birmingham et al. 2008; Harilainen und Sandelin 2006) und weitere Studien mit teils starker Evidenz legen ihr Geschlechterverhältnis nicht offen (Mayr et al. 2014). Das durchschnittlich signifikant kürzere vordere Kreuzband von Frauen im Vergleich zum Mittelwert aller Männer hat dabei keinen Einfluss auf die Prädisposition zur Ruptur (Estes et al. 2015). Punktuelle Studien zeigen ein vermeintlich größeres Rupturrisiko in der weiblichen Population aufgrund von anatomischen Unterschieden der Femurkondylen (Hoshino et al. 2012). Die Altersverteilung vom 16. bis zum 52. Lebensjahr ist sehr breit und stellt damit eine adäquate Repräsentation der am Kreuzband verletzten Patienten dar. Auch hier gleicht die Altersverteilung anderen Studien mit guter Evidenz (Birmingham et al. 2008; Harilainen und Sandelin 2006; Mayr et al. 2014).

Auch die Erfragung des zur Verletzung führenden Traumas spiegelt eine breite Aktivitätsanamnese wider, in welcher Massensportarten wie Fußball und Handball am meisten vorzufinden sind.

Bei den Kriterien, die zum Ausschluss aus der Studie führten, handelte es sich vor allem um Begleitverletzungen, die das Maß einer isolierten vorderen Kreuzbandruptur deutlich übersteigen.

Bei all diesen Schäden ist davon auszugehen, dass sie einzeln oder in ihrer Gesamtheit eine Verfälschung der zu messenden Parameter hervorgerufen hätten (Strobel und Zantop 2014; Becker et al. 2002). Außerdem besteht oftmals die Indikation zu einer anderen Therapie dieser Verletzungen, indem ein anderes autogenes Transplantat benötigt wird oder eine grundlegend andere Operationsstrategie von Nöten ist (Strobel und Zantop 2014). Hierbei wurde sich an vergleichenden Studien orientiert (Mayr et al. 2004; Harilainen et al. 2006; Birmingham et al. 2001).

Der untersuchte postoperative Zeitpunkt der Messung macht erkennbar, dass mit drei Monaten nach vorderer Kreuzbandplastik ein in unserer Studie frühfunktioneller Zeitpunkt (t1) betrachtet wird, der in nur wenigen Studien ähnlich ausführlich mit arthrometrischen und isometrischen Tests sowie mit Scores evaluiert wird. Dabei ist zu hinterfragen, ob nicht diese frühe Phase, in der eine Orthese getragen wird oder gerade erst abgelegt worden ist, entscheidend für das Gesamt-*Outcome* des Patienten ist. Eine Angleichung der Funktionalität, Stabilität usw. nach längerer p. o.-Zeit ist sehr wahrscheinlich. Dabei bleibt jedoch die frühe postoperative Phase ein entscheidender Wegweiser für das spätere Ergebnis.

4.2 Diskussion der Untersuchungen

4.2.1 Diskussion der Ergebnisse aus den Scores

Die Ergebnisse aus den Scores in der vorliegenden Studie zeigten im Vergleich beider Studiengruppen zum Zeitpunkt t1, also drei Monate nach der vorderen Kreuzbandplastik, keine signifikanten Unterschiede im *Knee Society Subscore* „Knie“ ($p = 0{,}07$), sowie im *Oxford Knee Score* ($p = 0{,}068$), im Tegner-Aktivitätslevel ($p = 0{,}051$) und in der visuellen Ratingskala zur Erfassung des Schmerzes ($p = 0{,}443$). Diese Ergebnisse reihen sich damit in die aktuelle Studienlage ein und spiegeln zunächst unbeachtet des verwendeten Transplantates, der Operationstechnik und der untersuchten Bewegungslimitierung, die Daten aus anderen Studien zum Thema der Orthesentherapie nach vorderen Kreuzbandersatz wider. Jedoch sind genau diese Faktoren endscheidend für das *Outcome*. Bei Harilainen et al. (2006) z.B. bestehen diese relevanten Unterschiede im Vergleich zu unserer Studie, im Transplantat (Patellarsehne), der damit verbundenen Operationstechnik und der benutzten Orthese (*DonJoy* COOL IROM). Es gibt jedoch auch einzelne Studien, welche signifikante Unterschiede in den genannten Scores bei der vorliegenden Fragestellung anzeigen. Einen postoperativen Unterschied im Tegner-Aktivitätslevel konnte in einer Studie von Möller et al. (2001) demonstriert werden. Im Vergleich zu unserer Studie zeigte sich das bessere Tegner-Aktivitätslevel 6 Monate nach der Operation in der Patientengruppe ohne Orthesentherapie. Eine Unterscheidung zwischen der unsrigen und der

genannten Untersuchung ist wiederum das verwendete Kreuzbandtranplantat (Patellarsehne) sowie der betrachtete postoperative Zeitpunkt von sechs Monaten. Nach zwei Jahren wurde in der Möller et al. (2001)-Studie kein Unterschied im Tegner-Aktivitätslevel herausgearbeitet. Unsere Ergebnisse analysieren demnach einen früheren postoperativen Zeitpunkt und liefern Ergebnisse zu einem anderen Kreuzbandersatz (Semitendinosusplastik). Birmingham et al. (2008) konnten in einer Studie mit insgesamt 150 Probanden nach Semitendinosusplastik ebenfalls keine Unterschiede in den Scores VAS und Tegner-Aktivitätslevel nach 1, 5, 6, 12 und 24 Monaten zwischen der Rehabilitation mit *Neoprensleeve* und Knieorthese herausarbeiten. Demnach gäbe es eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen postoperativen Bewegungslimitierungen am Kniegelenk, welche indirekt die Notwenigkeit der Limitierung als solche in Frage stellt. Die freie Behandlung nach vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosussehne scheint sich dennoch tendenziell positiv auf das Aktivitätsniveau der Probanden auszuwirken. Beim direkten Vergleich unserer erhobenen Daten wird dieses durch einen Vorteil der NO-Gruppe ersichtlich. Auch der Funktionsscore der *Knee Society* deutet auf diese Feststellung hin und zeigte sich in unserer Studie signifikant ($p = 0{,}022$) zugunsten der orthesenfreien Nachbehandlung. Es müssten noch weitere *Follow-Up's* zu späteren Zeitpunkten erfolgen, damit eine Unterscheidung deutlicher zu erkennen ist. Kein Unterschied zwischen Orthese und freier Beweglichkeit in den Scores kann demnach auch bedeuten, dass eine Orthese keinen Vorteil gegenüber einer Rehabilitation ohne Orthese hat.

Kritisch muss jedoch der Vergleich zu den präoperativen Daten (Zeitpunkt t0) gezogen werden. Dabei fällt ein besseres Ergebnis der Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) im Tegner-Aktivitätslevel auf. Eine möglicherweise bessere physiologische Verfassung der NO-Subgruppe ist zu erkennen. Auch hier muss man Bezug auf die Traumaursachen der NO-Gruppe nehmen, welche aufzeigen, dass sich ein höherer Anteil von Sportlern in der genannten Gruppe befinden könnte (siehe Abbildung 10). Diese besitzen dann eine vermeidlich bessere Konstitution als die Probanden der Orthesengruppe. Dennoch zeigt die postoperative Therapie ohne Orthese einen positiven Effekt in Bezug auf die Ergebnisse der Funktionalität, die bei Betrachtung von Tegner-Aktivitätslevel (tendenziell) und Funktionsscore der *Knee Scociety* (signifikant) nicht ignoriert werden können. Eine bessere Schmerzsituation, wie sie z. B. von Mayr et al. (2014) zugunsten der orthesenfreien Studiengruppe nach vier Jahren postoperativ gezeigt wird, findet sich in unserer Studie nicht. In der genannten Studie wurde jedoch das Patellarsehnentransplantat für die VKB-Plastik verwendet. Somit kann das Ergebnis nur bedingt auf unsere Studienergebnisse übertragen werden.

Ein von uns verwendeter Teil des Fragekataloges ist der *Oxford Knee Score* (OKS). Dieser hat in der Literatur vor allem in der Bewertung von Patienten mit Kniegelenksarthroplastiken einen

Stellenwert und ist dabei sehr gut vergleichbar mit anderen häufig verwendeten Scores, wie dem SF-36 oder American *Knee Society Score* (Keller et al. 1999; Reddy et al. 2011). Dieser punktet mit einer besseren Ansprechbarkeit sowie einem besseren Verständnis im Umgang mit den Fragen für den Patienten (Dawson et al. 1998; Ko et al. 2013). Da der Fragekatalog kurz gestaltet und damit äußerst praktikabel ist, besteht ebenfalls eine hohe Reliabilität und Validität (Dawson et al. 1998). Beim Thema der vorderen Kreuzbandplastik und Nachbehandlung dieser, wird er aktuell kaum verwendet, obwohl ein großer Vorteil des *Oxford Knee Scores* (OKS) die Empfindlichkeit zur Detektion von Veränderungen über die Zeit ist (Dawson u. a. 1998). Damit ist er in dieser Fragestellung mutmaßlich besser geeignet als der SF-36-Fragekatalog (Keller et al. 1999; Ware et al. 1999). Auch in diesem Score unterscheiden sich Orthesengruppe (OKS 22,6 +/- 6,6 „*good*“) und Nicht-Orthesengruppe (OKS 19,8 +/- 5,1 „*excellent*“) nicht voneinander. Eine Tendenz zur freien Nachbehandlung ist im genannten Score zu erkennen. Eine signifikante Unterscheidung im präoperativen Setting zugunsten der Nicht-Orthesenträger (siehe Tbl. 2, OKS), muss hingegen kritisch gesehen werden. Ähnlich wie im oben bereits erwähnten Tegner-Aktivitätslevel, vermag eine negative Randomisierung vorliegen mit von Studienbeginn an besser konstituierter NO-Gruppe. Trotz allem zeigt die Studie im entscheidenden postoperativen *Follow-Up* keine Unterscheidbarkeit der Gruppen und damit auch keinen Vorteil der Orthesentherapie in Bezug auf den *Oxford Knee Score*, wie auch im Kniescore der *Knee Society,* im Tegner-Aktivitätslevel und in der visuellen Analogskala zur Schmerzerfassung. Im Funktionsscore der *Knee Society* gab es, wie oben bereits beschrieben, klare Signifikanz für eine bessere Nachbehandlung ohne Orthese. Die Orthese scheint in Anbetracht der Scores keinen Mehrwert zu haben und stellt somit keinen Vorteil zu einer freien Beweglichkeit nach vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosus-/Gracilissehne drei Monate postoperativ dar.

4.2.2 Diskussion der arthrometrischen Messung (Rotab)

Die Objektivierung der Laxizität des vorderen Kreuzbandes kann arthrometrisch gemessen werden. Die resultierenden Ergebnisse vermögen das *Outcome* des Patienten in Teilen zu quantifizieren (Kocher et al. 2005). Arthrometer können eine durch den Untersucher durchgeführte Stabilitätsmessung ergänzend quantifizieren. Klinische Studien haben die Vergleichbarkeit von klinisch-manuell durchzuführenden Stabilitätsnachweisen, wie dem Lachman-Test zur Bestimmung einer Translationsstabilität, mit der Messung durch ein Arthrometer bestätigen können (Bonnaire et al. 1995). Die arthrometrischen Tests dieser Studie zeigten im Vergleich beider Gruppen (O-Gruppe und NO-Gruppe) keine signifikanten Unterscheidungen in der Translationsstabilität (AP-Translation) mit verschiedenen Belastungsstufen (134 N, 150 N, 200 N) auf dem vorderen Kreuzband drei Monate nach

vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosus-/Gracilistransplantat, zwischen operiertem (Zeitpunkt t1) und kontralateral, gesundem (Zeitpunkt t1) Kniegelenk. Ein arthrometrisch signifikanter Unterschied beider Gruppen im präoperativen Setting wird später diskutiert (s. u.). Damit spiegelt sich auch in diesem Teil der Studie wider, dass eine Orthesentherapie keinen Vorteil gegenüber einer freien Nachbehandlung hat. Der bisherige wissenschaftliche Stand arthrometrischer Messungen im Vergleich von orthesenfreier und orthesengebundener Nachbehandlung nach vorderer Kreuzbandplastik demonstriert dieses ebenfalls. Zu erwähnen ist hier auch die weitaus größere Anzahl an Studien mit Patellarsehnenverwendung und die fast kaum präsente Anzahl an Studien mit Semitendinosus-/Gracilissehnentransplantat in der vordergründigen Fragestellung (Birmingham et al. 2001, 2008), trotz des bereits mehrfach erwähnten, besseren Gesamtabschneidens des *Harmstring-Graft*.

Bei der Messung der Stabilität wurde in den meisten Studien eine Translationsmessung mit dem KT-1000™ Arthrometer durchgeführt (Birmingham et al. 2008; Carter et al. 1997; Denti et al. 2000; Kartus et al. 1997; Mayr et al. 2014; Melegati et al. 2003; Muellner et al. 1998; Risberg et al. 1999; Shelbourne et al. 2009). Möller et al. nutzten 2001 den *Knee Laxity Tester* der Firma *Stryker*®. Harilainen und Sandelin (2006) detektierten die AP-Translationsunterschiede mittels CA-4000™ Elektrogoniometer. In unserer Studie wurde die Translationsbewegung der Tibia mit dem GNRB® Rotab Arthrometer der Firma Genourob® gemessen. Dieses Verfahren wurde jüngst bereits in klinischen Studien auf Qualität untersucht und dabei mit anderen Messverfahren verglichen (Jenny et al. 2017). Die Arthrometrie mit dem Rotab stellt demnach eine valide Möglichkeit der Stabilitätsmessung dar und zeigte zudem in Studien eine teils erhöhte Sensibilität und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse im Vergleich zu dem deutlich älteren KT-1000™ Knee Ligament Arthrometer (Collette et al. 2012). Gründe hierfür sind technische Weiterentwicklungen des GNRB®, welche sich in dem Patellaanpressdruck (Fixierungkonstanz), der Genauigkeit der Sensoren, der Wadenposition und der Kontrolle der Semitendinosus- und Gracilisaktivität (*Hamstringacitivity*) widerspiegeln. Diese technischen Daten wurden bereits im Methodikteil genauer beschrieben. Wir untersuchten sowohl das betroffene, als auch das nicht-betroffene Bein, was in einigen Studien nicht durchgeführt wurde. Bei aller Standardisierung solcher Stabilitätsmessungen, gibt es abgesehen vom benutzten Arthrometer weitere Unterschiede der arthrometrischen Datenerhebung zwischen den einzelnen Studien. Diese beziehen sich z. B. auf die VKB-Belastungsstufen.

Kartus et al. konnten 1997 herausfinden, dass es keine Stabilitätsvorteile der Schienenbehandlung nach vorderer Kreuzbandplastik mittels Patellarsehentransplantat gegenüber einer freien Beweglichkeit gibt. Es wurde hierfür unter anderem eine KT-1000™-Arthrometrie durchgeführt. Die Studie weist mit einer Gesamtteilnehmerzahl von 78 Personen und der

Randomisierung dieser Anzahl in zwei Gruppen (A mit 39 Probanden und mit Ortheseneinsatz, B mit 39 Probanden und ohne Ortheseneinsatz) eine etwas größere Teilnehmerstärke als unsere Studie auf. Bei den AP-Translationsmessungen mit dem KT-1000™ Arthrometer konnten keine Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgruppen in der Fragestellung der Seit-zu-Seit Differenzen, also zwischen operiertem und nicht-verletztem Knie, und des direkten Vergleiches der operierten Kniegelenke nach zwei Jahren gefunden werden. Leider wurde die AP-Translation mit nur einer Belastungsstufe von 89 N auf dem vorderen Kreuzband gemessen. Ergebnisse mit größerer VKB-Belastung bleiben somit genauso aus wie der Vergleich der beiden Gruppen in der frühfunktionellen Phase der ersten sechs Monate oder nach einem Jahr postoperativ. Unsere Studie schließt somit diese Lücke und gibt Antworten auf die Frage nach der frühfunktionellen, objektiv messbaren Stabilität sowie nach verschiedenen Belastungsstufen auf dem vorderen Kreuzband im Rahmen der Stabilitätsmessverfahren bei Semitendinosus-/Gracilistransplantat. Unsere arthrometrischen Ergebnisse zeigen dabei Ähnlichkeiten mit arthrometrischen Ergebnissen von Birmingham et al. (2008). Sie konnten unter Verwendung des Semitendinosussehnentransplantates prospektiv im Vergleich zwischen einer funktionellen Knieorthese und eines *Neoprenesleeves* (Neoprenebandage) nach vorderer Kreuzbandplastik ebenfalls arthrometrisch keinen Unterschied zwischen beiden Gruppen (n = 62 versus n = 65) nach 3, 6, 12 und 24 Monaten detektieren. Die Differenz der Seit-zu-Seit Unterschiede in beiden Gruppen zum jeweiligen Zeitpunkt erwies sich als nicht signifikant. Es gab also keinen positiven Effekt einer Neoprenebandage auf die Translation. Auch in dieser Studie wurde mit nur einer Belastungsstufe (134 N) auf dem vorderen Kreuzband gearbeitet. Es fehlt somit wiederum der Ausblick auf Messwerte stärkerer VKB-Belastungsstufen, welche in unserer Studie mit zusätzlicher Belastung von 150 N und 200 N gegeben ist. Diese zusätzlichen Belastungsstufen simulieren eine gezielte Mehrbelastung auf dem vorderen Kreuzband, wie sie beim schnelleren Lauf, zügigen Bergabgehen (150 N) oder im Sprint bzw. Sprung aus einer Höhe (200 N) zu Stande kämen (Jagodzinksi 2016; Strobel und Zantop 2014; Woo et al. 1991). Dabei liegt die eigentliche maximale Dehnungskraft eines vorderen Kreuzbandes, welche außerdem negativ mit dem Alter korreliert, noch weit über der 200 N-Marke. Zu einer Ruptur komme es bei jüngeren Probanden zwischen 22-35 Jahren, welches auch dem Altersgipfel unserer Studie entspricht (siehe Abb. 8), bei im Mittel 2160 +/- 157 N (Duthon et al. 2006; Woo et al. 1991). Unsere Studie zeigt mit drei VKB-Belastungsstufen in der Arthrometrie eine Besonderheit im Vergleich der anderen Studien mit nur einer verwendeten Belastungsstufe auf. Diese Studie gibt also zusätzlich einen weiteren Hinweis auf eine frühe p. o.-Belastbarkeit der Semitendinosus- und Gracilissehnentransplantate.

Die frühe postoperative Phase kann in der gesamten Rehabilitation ein entscheidender Zeitraum für das spätere *Outcome* im Alltag und bei Sportaktivität sein. Studien, die einen späteren Zeitraum diese Fragestellung betrachten, zeigen dieses indirekt an. Eine Untersuchung von Harilainen und Sandelin (2006) ergab nach 5 Jahren postoperativ keine signifikante Unterscheidung in der Translationsstabilität zwischen einer Kontrollgruppe mit Orthese (n = 30) und der Studiengruppe freier Beweglichkeit (n = 30) nach vorderer Kreuzbandplastik. Sie verwendeten jedoch die Patellarsehne als Transplantat, was wiederum das Ergebnis nur bedingt mit unseren Daten vergleichen lässt. Mittels CA-4000™ Elektrogoniometer wurde eine Kraft von 178 N auf das vordere Kreuzband/den *BTB-Graft* gegeben und eine Seit-zu-Seit Differenz (operiertes und kontralaterales, gesundes Knie) beider Gruppen, wie u. a. in unserer Studie, miteinander vergleichen. Es ergaben sich dabei keine signifikanten Unterschiede. Dabei fehlen erneut Messwerte mehrerer Belastungsstufen der Arthrometrie, sowie die erwähnten Ergebnisse in der frühfunktionellen Phase der ersten 6 p. o.-Monate. Vor allem liegen erneut keine Daten zum *Hamstring-Graft* vor. Mayr et al. (2014, 4-Jahres *Follow-Up* mit KT-1000™; Patellarsehnentransplantat) (Brandsson et al. (2001, 2-Jahres *Follow-Up* mit KT-1000™, Patellarsehnentransplantat), Möller et al. (2001, 2-Jahres *Follow-Up* mit *Knee Laxity Tester*, Firma: *Stryker*®; Patellarsehnentransplantat) und Shelbourne et al. (2009, 10-Jahres *Follow-Up* mit KT-1000™; Patellarsehnentransplantat) stellten ebenfalls keine Langzeitunterschiede in der Arthrometrie von Kniegelenken nach vorderer Kreuzbandplastik und freier vs. orthesengebundener Nachbehandlung heraus. Es ist zu vermuten, dass nach einer gewissen postoperativen Zeit der Effekt einer Orthese nicht mehr zu erwarten ist. Das eröffnet die Frage, wie lange eine Orthese, wenn sie denn positiven Einfluss auf die p. o.-Stabilität hätte, diesen Effekt anzeigen kann. Alle oben genannten Studien verwendeten wiederum die Patellarsehne als Kreuzbandersatz. Es fehlt die Datenlage zu den Semitendinosus- und Gracilistransplantaten, welche wir durch unsere Ergebnisse nun erweitern können.

Wie erwähnt unterscheiden sich unsere Untersuchungen des Weiteren durch die Messungen mit verschiedenen Belastungsstufen auf dem vorderen Kreuzband. Eine Signifikanz in einer der drei Belastungsstufen wird jedoch nicht erkennbar. Ein Grund hierfür könnte pragmatisch betrachtet die Tatsache sein, dass die Orthesenverwendung keinen Einfluss auf die AP-Stabilität bei jeglicher Belastung hat. Damit verbunden hätte sie ebenfalls keinen Einfluss auf ein schnelleres oder effizienteres Einheilen des Semitendinosus-/Gracilistransplantates. Bei der Untersuchung der Seit-zu-Seit Differenzen in den jeweiligen Gruppen konnten in der vorliegenden Studie Werte erhoben werden, die auch in ähnlicher Weise in anderen Studien aufgezeigt wurden (Kartus et al. 1997; Mayr et al. 2014; Melegati et al. 2003; Muellner et al. 1998; Risberg et al. 1999). Eine Studie zur Wiederholbarkeit von Arthrometrien (hier mit KT-1000™) in der Normalbevölkerung ohne

vorliegenden Knieverletzungen von Wroble et al. (1990) zeigte eine durchschnittliche Seit-zu-Seit Differenz von +/- 0,7 mm (+/- 1,3) mit einem 90%-Konfidenzlimit von +/- 1,7 bei 134 N VKB-Belastung. In unserer Studie ist die Seit-zu-Seit Differenz zum Zeitpunkt t1, also drei Monate nach der Operation, mit einer durchschnittlichen Translationsstrecke von 0,1 mm (+/- 1,6) in der O-Gruppe, und -0,4 mm (+/- 1,5) in der NO-Gruppe bei 134 N VKB-Belastung berechnet worden. Dieses ist mit den Ergebnissen der Vorstudien in Einklang zu bringen. Der Vergleich der Seit-zu-Seit Differenzen der betroffenen Extremität wird zudem valider, da ein Vergleich der gesunden, kontralateralen Kniegelenke zwischen den beiden Studiengruppen und im gruppeninternen Vergleich zu keinem Zeitpunkt signifikante AP-Translationsunterschiede anzeigt (siehe Tabelle 3 und 4).

Ein tendenziell zuerkennender frühfunktioneller Vorteil der freien Nachbehandlung wird dennoch beim Betrachten der betroffenen Kniegelenksmesswerte beider Gruppen nach der Operation sichtbar. In der NO-Gruppe wurden, wenn auch nicht signifikant, niedrigere AP-Translationswerte als in der O-Gruppe detektiert. In der Orthesengruppe (O-Gruppe) war der Seit-zu-Seit Vergleich bei 134 N und 150 N mit jeweils 0,1 mm (+/-1,6 bzw. +/- 1,8) annähernd gleichwertig und bei VKB-Belastung von 200 N mit 0,3 mm (+/- 1,7), anders als in der NO-Gruppe, zugunsten der nicht-operierten Seite gemessen. In der Nicht-Orthesengruppe spiegeln die negativen Vorzeichen der Seit-zu-Seit Differenzen in allen drei Belastungsstufen aufgrund der Berechnung (operierte Seite minus gesunde, kontralaterale Seite) einen ebenfalls tendenziellen Stabilitätsvorteil des Kniegelenks mit freier Beweglichkeit nach Intervention wider (134 N: -0,6 mm (+/- 1,5); 150 N: -0,5 mm (+/- 1,6); 200N: -0,7 mm (+/- 1,6)). In der frühen Phase nach drei Monaten postoperativ lässt sich demnach keine signifikante Unterscheidung der beiden Rehabilitationsprotokolle mit bzw. ohne Orthese finden. Möglicherweise lässt sich diese Tendenz mit Hilfe größerer Studiengruppen genauer veranschaulichen und das Ergebnis ggf. signifikant werden. Eine 1998 durchgeführte Untersuchung von Muellner et al. zeigte (mit der Patellarsehne) ebenfalls in der eher frühfunktionellen Phase nach 24 Wochen keinen Unterschied in der KT-1000™-Arthrometrie zwischen einer Kontrollgruppe mit Orthesenbehandlung und einer Studiengruppe mit Kniebandagierung für jeweils sechs Wochen. Leider wurde VKB-Belastungsstufe nicht angegeben, sodass wir keinen Richt- und Vergleichswert für die eingesetzte Kraft in dieser Studie haben. Durch Melegati et al. (2003) wurde ebenfalls verdeutlicht, dass arthrometrisch (KT-1000™ mit einer nicht erwähnten Belastungsstufe) im vierten postoperativen Monat keine frühfunktionelle Differenz zwischen einer Gruppe mit in Extensionsstellung für die erste portoperative Woche verschlossener Orthese und einer geöffneten Orthese (0° bis 90°) besteht. Zwar wurde auch hier die Patellarsehne verwendet, jedoch zeigen die Ergebnisse auch an, dass eine fixierte Orthese keinen Einfluss auf z. B. das spätere Extensionsdefizit haben muss.

Zusammentragend wird festgestellt, dass unsere Studie in Anbetracht der Stabilitätsmessungen aller genannten Studien deren Ergebnisse bekräftigen kann. Jedoch ist als wichtiges Merkmal zu erwähnen, dass bei der Messung der AP-Stabilität in der Vielzahl der Studien die vordere Kreuzbandplastik mittels Patellarsehnentransplantant durchgeführt wurde (Brandsson et al. 2001; Harilainen und Sandelin 2006; Kartus et al. 1997; Mayr et al. 2014; Melegati et al. 2003; Muellner et al. 1998; Risberg et al. 1999; Schindler 2012a). Lediglich eine Studie zeigte keine Stabilitätsunterschiede beim *Hamstring-Graft*, also dem Semitendinosus- bzw. Gracilistransplantat (Birmingham et al. 2008).

Mit der vorliegenden Studie werden erstmals Ergebnisse zur Semitendinosus- und Gracilissehne als Transplantat für einen Ersatz des vorderen Kreuzbandes präsentiert. Es handelt sich in vielen Aspekten um das bessere Transplantat mit deutlich weniger Entnahmemorbidität (Armour et al. 2004; Biau et al. 2006; Gobbi et al. 2005; Keays et al. 2007; Wagner et al. 2005; Strobel und Zantop 2014). Nach unseren Ergebnissen hat die Orthese keinen Effekt auf die verbesserte Translationsstabilität in verschiedenen, dem Alltag nachempfundenen Belastungsstufen nach drei Monaten postoperativ im Vergleich zur freien Beweglichkeit.

Eine bereits oben erwähnte Ausnahme mit Signifikanz in der Unterscheidung beider Gruppen unserer Studie wurde präoperativ (Zeitpunkt t0) in der Arthrometrie mit 200 N Belastung auf dem vorderen Kreuzband erkannt. In dieser Belastungsstufe schnitt die Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) mit einer mittleren AP-Translationsdifferenz von 2,2 mm geringerer ab als die Orthesengruppe (O-Gruppe, $p = 0{,}019$). Dieses gibt zu erkennen, dass die NO-Gruppe präoperativ bei größerer Belastung auf dem vorderen Kreuzband scheinbar stabilere Kniegelenke trotz rupturierten Kreuzbandes hatte. Ein Blick auf die Traumaanamnese beider Gruppen lässt erkennen, dass in der NO-Gruppe ein geringer Anteil der Probanden eine Verletzung im Alltag erlitten hat (9 % aller NO-Gruppenangehörigen, siehe Abbildung 10). Demgegenüber steht ein Anteil von 31 % Alltagstraumata in der O-Gruppe, die zur vorderen Kreuzbandruptur geführt haben. Eine in Teilen negative und kritisch, zu analysierende Randomisierung könnte für dieses Ergebnis verantwortlich sein. Die Feststellung eines zwar ersichtlichen Stabilitätszuwachses vom Zeitpunkt t0 (präoperativ) zum Zeitpunkt t1 (drei Monate postoperativ) in der NO-Gruppe bei Belastungsstufe 200 N von 9,9 (+/- 3,1) mm (t0) auf 8,2 (+/- 1,8) mm (t1, Diff.: -1,7 mm) dient zwar der Evaluation des Operationserfolges, ist jedoch zugleich als nicht signifikant gewertet ($p = 0{,}059$) und könnte ebenfalls Ausdruck einer Störung der Randomisierung beider Gruppen sein. Für die exakte Klärung dieser Vermutung müsste die Größe beider Studiengruppen zum Zeitpunkt t1 erweitert werden (Zeitpunkt t1 O mit $n = 23$, NO mit $n = 20$).

4.2.3 Diskussion der isometrischen Messungen und Balancierversuche

Isometrische Unterschiede der beiden VKB-Nachbehandlungsstrategien untersuchten wir auf zwei verschiedene Arten. Zum einen quantifizierten wir die Propriozeption, also die Tiefensensibilität und zum anderen die posturale Kontrolle, also die Körperhaltung bzw. das Gleichgewicht.

Zur propriozeptiven Evaluation der Kniegelenke diente in dieser Studie die Goniometrie. Sie stellt eine Möglichkeit dar, geforderte Gelenkstellungen aus einer Ausgangsstellung/-position einzunehmen und diese in Bezug auf die Genauigkeit der Wiedereinnahme zu überprüfen. Ähnliche Verfahren werden in anderen Studien gleichsinnig benutzt (Cossich et al. 2014; Harter et al. 1988; Mir et al. 2008). In vielen Studien wird vom *joint-position-sense* (JPS), also dem Sinn zur Gelenkpositionierung, gesprochen (Barrack et al. 1984; Barrett et al. 1991; Carter et al. 1997; Cossich et al. 2014; Harter et al. 1988; Ishii et al. 1997; Jerosch et al. 1997; Mir et al. 2008; Perlau et al. 1995). Diesen zu quantifizieren ist auf unterschiedlichem Wege möglich. Dabei wird in einigen Studien ein Schwellenwert gemessen, an dem der Proband eine passive Änderung der Gelenkstellung subjektiv wahrnimmt und dieses daraufhin signalisiert. Diese Methode wird als *threshold to detection of passive motion* (TTDPM) bezeichnet und findet sich in Studien mit Schwerpunkt der Propriozeptionsanalyse (Barrack et al. 1984; Corrigan et al. 1992; Fridén et al. 1997; MacDonald et al. 1996; Nagai et al. 2013; Roberts et al. 1999). Eine weitere Methode kleinste Bewegungsänderungen zu detektieren ist die Messung von Eigenmuskelpotentialen, welche u. a. von Beard et al. (1994, mit *Vicon Interfaced Knee Displacement*) durchgeführt wurde. Diese Methode ist jedoch sehr aufwändig und störanfällig. Die Wiederherstellung einer geforderten Gelenkstellung kann zudem mit isokinetischen Dynamometern gemessen werden, wie es z. B. bei Cossich et al. (2014) mittels CSMi, *Humac Norm*, oder bei Carter et al. (1997) mit dem *Lidoactive model* der Firma Loredan Inc. der Fall ist. Auch diese Formen der isometrischen Messungen sind mit hohen Kosten verbunden, führen jedoch zu sehr genauen Ergebnissen. Wir entschieden uns für die goniometrische Messung, welche auch in ähnlicher Form u. a. 2008 von Mir et al. durchgeführt wurde und konnten dadurch den zeitlichen Aufwand für den Patienten im *Follow-Up* reduzieren, was wiederum einen positiven Effekt auf die *Compliance* der Teilnehmer hatte.

Zusammenfassend stellten wir goniometrisch-isometrisch keine signifikanten Unterschiede zwischen einer orthesengebundenen und einer orthesenfreien Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik heraus. Wie in verschiedenen Studien beschrieben wird, hätte es präoperativ jedoch durchaus Differenzen zwischen dem gesunden, kontralateralem und dem Knie mit der vorderen Kreuzbandruptur geben können (Carter et al. 1997; Cossich et al. 2014; Jerosch et al.

1997). Diese Ergebnisse lassen sich in unserer Studie, zumindest im Goniometrieversuch zur Propriozeptionsanalyse, nicht reproduzieren. Eine mögliche Begründung liegt hierbei in der Versuchsdurchführung. Die gerätegebundene Messung des *joint-position-sense* (JPS) mit kinematischer Dynamometrie (zusätzlich Messung der Muskelstärke und des Drehmomentes) oder Isometrie ist, wie bereits vermutet, genauer als eine Messung mit dem Goniometer. Somit können Störbewegungen bei der Haltung der gefragten Winkelstellung ausgeglichen und der Winkelgrad [°] effizienter bestimmt werden. Auch die Bias der Untersucherabhängigkeit und Anlage des Goniometers an das Knie durch die physiologische Drehachse stehen hier zweifelsohne im Raum. Somit kann angenommen werden, dass eine maschinelle isometrische Messung gegebenenfalls genauere Werte gemessen hätte. Jedoch ist nicht ersichtlich, ob diese einen präoperativen, signifikanten Unterschied zwischen verletztem und gesundem Kniegelenk angezeigt hätten. Postoperativ stellen auch andere Studien in der Tiefensensibilitätsbestimmung keine Unterschiede zwischen einem rekonstruierten vorderen Kreuzband und der kontralateralen, gesunden Seite heraus. Mir et al. zeigten in einer Studie 2008, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Patienten mit VKB-Plastik vor 11 Monaten, deren kontralateraler, unverletzter Knieseite und den dominanten Knien unverletzter Individuen aus der Bevölkerung im JPS gibt. Sie bestimmten goniometrisch einen geforderten Beugewinkel. Anders als in unserer Studie sollte der zu betrachtende Gelenkwinkel aus A) einer Flexionsstellung und B) einer Extensionsstellung eingenommen werden. In unserer Studie mit insgesamt 50 Probanden im präoperativen und 43 im postoperativen *Follow-Up* nach drei Monaten, bieten wir etwas größere Gruppenvolumina als in der oben genannten Studie (dort Gesamt-n = 24) an. Zudem betrachten wir mit dem Zeitpunkt t1, drei Monate nach der Operation, einen noch früheren Zeitpunkt. Ein Unterschied lässt sich auch frühfunktionell in unserer Studie nicht erarbeiten. Es kann angenommen werden, dass ab einem bestimmten Zeitpunkt x die Propriozeption wiederhergestellt sein kann. Dieser Zeitpunkt ist jedoch abhängig von verschiedenen Faktoren zu denen das Transplantat mit ggf. Entnahmemorbidität, das Rehabilitationsprogramm und der individuelle Zustand des Patienten zählen wird. Das verwendete Transplantat wurde in der genannten Vergleichsstudie leider nicht angegeben, somit ist zwar das Ergebnis ohne signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen anzunehmen, jedoch die Fragestellung nicht vollends mit unserer Studie in Einklang zu bringen. Die Frage nach verwendetem Transplantat und der Funktion der Orthese bei der Propriozeptionsuntersuchung fehlen daher. Eine Studie von Risberg et al. aus dem Jahre 1999 zeigte, dass es in der Wahrnehmung einer Veränderung der Kniegelenksposition keine signifikanten Unterschiede zwischen einer Gruppe mit und einer Gruppe ohne Orthesenverwendung nach VKB-Plastik gibt. Der Betrachtungszeitraum ist jedoch nach zwei Jahren p. o. gewählt, womit die Hypothese gestärkt wird, dass nach einer gewissen Zeit

kein propriozeptiver Unterschied zwischen den beiden Rehabiliationsprotokollen besteht. Als Transplantat wurde die Patellarsehne verwendet, daher besteht auch in diesem Punkt ein eher eingeschränkter Vergleich. Auch in diesem Teilversuch wird folgendes deutlich: Wenige Studien zur Propriozeptionsuntersuchung nach vorderer Kreuzbandplastik befassen sich kritisch mit der Orthesenrehabilitation, verwenden selbst ebenfalls das Semitendinosus- bzw. Gracilistransplantat und betrachten zudem den frühfunktionellen und aller Voraussicht nach entscheidenden Zeitraum nach der Operation. Einen äußert kleinen, jedoch signifikanten Unterschied in der propriozeptiven Kniegelenkswahrnehmung konnten Birmingham et al. 2001 unter Verwendung der Semitendinosussehne beobachten. Die Probanden sollten wiederholend eine bestimmte Stellung des Kniegelenkes einnehmen, ähnlich wie es in unserer Studie durchgeführt wurde. Dabei konnte die Orthesengruppe diese Gelenkstellung mit signifikant geringer Abweichung einnehmen, als die Gruppe ohne Orthese. Die Untersuchungen fanden jedoch nicht zu einem für jeden Probanden gleichen postoperativen Zeitpunkt statt. Daher ist die Frage nach einem Unterschied direkt nach der Verwendung der Orthese ungeklärt. Wir konnten nach drei Monaten postoperativ keinen Gruppenunterschied in der Wiedereinnahme einer geforderten Gelenksstellung im Knie zeigen. Das wiederum könnte einmal mehr darauf hindeuten, dass die Orthese keinen Einfluss auf das propriozeptive *Outcome* und damit auf die Rehabilitation hat. Vielmehr ist zu vermuten, dass das Rehabilitationsprotokoll als solches mit den gezielten Übungen zur Stärkung der Tiefensensorik einen großen Einfluss hat. Ungeachtet dessen sind das operative Ergebnis und die Transplantatwahl wahrscheinlich entscheidend. Ein Indiz hierfür stellt eine 1994 durchgeführte Studie von Beard et al. dar, die ein Rehabiliationsprotokoll mit gezielten Übungen für die Harmstringmuskulatur, also u. a. Semitendinosus- und Gracilismuskel untersuchten und einen Vergleich zur konventionellen Rehabilitation machten. Dieses Training verbesserte signifikant die Kontraktionszeit dieser Muskeln, also jene Zeit, die entscheidend ist, um propriozeptive Ausgleichsbewegungen durchführen zu können und damit verbunden ein besseres Stabilitätsempfinden zu haben. Der Versuch wurde an VKB-rupturierten Patienten durchgeführt, was die Frage zum *Outcome* nach der operativen Intervention daher nicht beantworten kann. Dennoch scheint auch in anderen Studien gezieltes, z. B. präoperatives Training, positive Auswirkungen auf die Tiefensensibilität zu haben (Alshewaier et al. 2016; Beard et al. 1994; Fremerey et al. 2000; Smith et al. 2014; Wojtys und Huston 2000; Zhou et al. 2008). Dadurch lässt sich das *Outcome* durch Training mit bestimmten funktionellen Tests messen (MacDonald et al. 1995; Rambaud et al. 2016). Verminderte Propriozeption bedeutet im weiteren Verlauf eine schlechtere Stabilität, also ein schlechteres *Outcome* (Fremerey et al. 2000). Es stellt sich jedoch heraus, dass Propriozeption und ihre Wahrnehmung und Verbesserung durch Operation und gezieltes Training komplexer sind als der direkte Einfluss einer Orthese auf die

Tiefensensibilität jemals sein kann. Ein Indiz hierzu lieferten Reider et al. (2003), die einen signifikanten propriozeptiven Unterschied im *joint-position-sense* zwischen prä- und postoperativen Probanden zugunsten der rekonstruierten vorderen Kreuzbänder fanden. Eine Orthese wurde hierbei nicht verwendet. Eine Orthese oder Schiene kann demnach nur ein möglicher Störfaktor in der entscheidenden frühfunktionellen Phase sein, der die Wiederherstellung der Propriozeption durch die wesentlich entscheidendere Operation und das gezielte Training individuell (ggf. negativ) beeinflusst. Wenn die Orthese nach Ende der Tragezeit abgelegt wird, besteht eine völlig neue Situation für das Kniegelenk des Patienten. Diese Situationsumstellung könnte ohne eine Orthesenverwendung logischerweise vermieden werden. Die Ergebnisse unserer Studie nach drei Monaten ohne Unterschied zwischen den beiden untersuchten Gruppen können hierfür ein Beispiel darstellen, da wir mit drei Monaten postoperativ genau diesen frühfunktionellen Zeitraum kurz nach Ende der Orthesentragezeit von sechs Wochen betrachten (siehe Tabelle 5). Spätfunktionell sind durch Ergebnisse weiterer Studien keine Unterschiede zu erwarten (Harter et al. 1988).

In der Literatur liegen nur wenige Studien vor, die sich gezielt mit der Fragestellung posturaler Kontrollveränderungen im Zusammenhang mit einer Orthesentherapie oder der freien Beweglichkeit nach vorderer Kreuzbandplastik beschäftigen (Birmingham et al. 2001; Kuster et al. 1999; Rougier et al. 2012). Lediglich eine Studie benutzte dabei das gleiche VKB-Transplantat wie in unserer Studie (Birmingham et al. 2001). Sie zeigten dabei, dass es eine bessere Stabilität im *single-leg-stance* auf einer stabilen Plattform bei geöffneten Augen (*eyes-open*) mit einer Orthese (*Brace*) gibt. Das Entscheidende in der genannten Studie ist der frühfunktionelle Vergleich jedes Einzelnen der 30 VKB-rekonstruierten Probanden, einmal mit und einmal ohne eine individuell angefertigte Orthese nach mindestens sechs Monaten postoperativ. Es fehlt dementsprechend ein randomisierter Vergleich zweier Gruppen (Studiengruppe vs. Kontrollgruppe) sowie der frühfunktionelle Vergleich jener Gruppen nach drei Monaten postoperativ in statischen und insbesondere dynamischen Stabilitätsversuchen. Damit wird lediglich der Effekt einer Orthese als solches untersucht, nicht aber das posturale *Outcome* des Patienten und die Aufgabe der Orthese in dieser Fragestellung. Inwieweit Versuche zur Balancierfähigkeit und posturalen Kontrolle Patienten mit vorderer Kreuzbandplastik überhaupt reliabel sind, stellten Kouvelioti et al. (2015) heraus. Sie suggerierten, dass sowohl ein-, als auch beidbeinige Balancetests eine reliable Methode sind das *Outcome* nach der vorderen Kreuzbandoperation zu bewerten, indem sie eine Probandengruppen mit unverletzten Kniegelenken mit verletzten bzw. VKB-operierten Kniegelenken von Patienten mittels Balancierstand auf einer Messdruckplatte verglichen. Insgesamt sind viele Studien zur posturalen Kontrollevaluation nach VKB-Rekonstruktion im Allgemeinen entwickelt worden. Sie beziehen sich auf den Stellenwert der vorderen

Kreuzbandplastik als Weg zur Wiederherstellung der posturalen Kontrolle (Bonfim et al. 2003; Denti et al. 2000; Furlanetto et al. 2016; Hatton et al. 2017; Zouita Ben Moussa et al. 2009), versuchen funktionelle Rehabilitationsverfahren zu evaluieren (Harrison et al. 1994; Henriksson et al. 2001) oder stellen geschlechtsspezifische Unterschiede heraus (Clark et al. 2017). Die Funktion von Orthese bzw. orthesenfreier Beweglichkeit in der Nachbehandlung werden weniger fokussiert. Dass eine Orthese an einem kreuzbandverletzten Kniegelenk die Standkontrolle stabilisiert, zeigten Palm et al. (2012). Sie untersuchten 58 Patienten mit isolierter, vorderer Kreuzbandruptur vor der Rekonstruktion in Bezug auf die dynamische Balancefähigkeit mit bzw. ohne Orthese. Die Ergebnisse wurden mit dem kontralateralen und unverletzten Kniegelenk, welches wiederum einmal mit und einmal ohne Orthese dynamisch getestet wurde, verglichen. Es zeigte sich, dass eine posturale Standverbesserung um 22 % in den verletzten und mit Orthese versorgten Kniegelenken im Vergleich zum posturalen Stand der verletzten Seite ohne Orthese erreicht wurde. Ob jedoch eine Orthese oder die freie postoperative Beweglichkeit als Nachbehandlungsstrategie die posturale Kontrolle positiv beeinflussen kann, wird mit dieser Studie nicht beantwortet. In den zum Vergleich unserer Studie recherchierten Fremdstudien mit Versuchen zur posturalen Kontrolle, machte ein Teil der Untersuchungen Balancetests mit rein statischen Settings (Bonfim et al. 2003; Clark et al. 2017; Furlanetto et al. 2016; Hasan 2004; Kuster et al. 1999; Rougier et al. 2012; Zouita Ben Moussa et al. 2009). Andere Studien evaluierten die posturale Kontrolle in statischen und dynamischen Settings (Denti et al. 2000; Garrison et al. 2015; Hatton et al. 2017) oder rein dynamischen Settings (Alonso et al. 2009; Mattacola et al. 2002). Unsere Studie zeigt demnach neue bisher nicht untersuchte Daten für statische und dynamische Balanciertests in der Fragestellung des Stellenwertes einer Orthese nach VKB-Plastik mit Semitendinosus- bzw. Gracilissehne.

Im Rahmen dieser dynamischen Standversuche auf dem *Balanceboard* (*single-leg-stance, eyes-open*) wurde der prozentuale Anteil an der Gesamtstandzeit von maximal 60,0 Sekunden errechnet. In beiden Studiengruppen zeichnete sich nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) eine substantiell bessere Standzeit mit der operierten Extremität im Vergleich zur nicht-betroffenen Extremität im Seit-zu-Seit Vergleich und in den absoluten Zahlen ab. Zuvor war präoperativ (Zeitpunkt t0) das Gegenteil gemessen und damit eine nicht-signifikante, aber substantielle Verschlechterung der betroffenen Extremität im Vergleich zur kontralateralen, gesunden Seite erfasst worden (siehe Tabelle 6, Interpretation). Letzteres zeigt den Stellenwert der vorderen Kreuzbandplastik als primären Faktor zur Wiederherstellung der Stabilität in Bezug auf die posturale Kontrolle in Balanceversuchen mit Störfaktoren (dynamische Balancetests; Hatton et al. 2017; Palm et al. 2012). Die Nicht-Orthesengruppe (NO-Gruppe) zeigte drei Monate nach dem operativen Eingriff mit dem betroffenen Bein eine tendenziell, jedoch nicht-signifikant bessere

Standzeit von +2,1 Sekunden (bzw. +3,5 % der max. Gesamtstandzeit) auf dem *Balanceboard*, als die Orthesengruppe (O-Gruppe; p = 0,223). Bei genauerer Betrachtung der Standzeiten der betroffenen Extremität auf dem *Balanceboard* kann in beiden Gruppen (O- und NO-Gruppe) eine Verbesserung vom Zeitpunkt t0 zum Zeitpunkt t1 verzeichnet werden. In der O-Gruppe ist diese Verbesserung als signifikant errechnet worden (p = 0,016). Die Probanden dieser Gruppe erzielten eine relative Verbesserung von 20,6 % der maximal zu erreichenden Gesamtstandzeit. Das entspricht einer absoluten Gesamtzeitverbesserung von 12,4 Sekunden im Vergleich zur präoperativen Standzeit. Die tendenzielle Verbesserung von 4,2 % der maximal zu erreichenden Gesamtstandzeit in der NO-Gruppe im Vergleich der beiden Zeitpunkte t0 und t1, wird mit absoluter Verbesserung von 2,5 Sekunden als nicht signifikant angezeigt (p = 0,369). Damit konnte gezeigt werden, dass die Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes eine Verbesserung der posturalen Kontrolle in dynamischen Testverfahren erzeugt, welche für die O-Gruppe als signifikant zu verzeichnen ist. Demnach könnte die Benutzung einer Orthese eine Verbesserung der Standkontrolle im Verlauf bedeuten. Eine präoperative (Zeitpunkt t0) Signifikanz für eine bessere Standzeit zugunsten der Nicht-Orthesengruppe (NO) von 19,9 % bzw. absoluter 11,9 Sekunden gegenüber der O-Gruppe (p = 0,046) muss wiederum als eine in Teilen ungünstige Randomisierung betrachtet werden, wie es bereits zuvor kritisch angebracht wurde. Ähnlich wie in den Stabilitätsmessungen mit dem GNRB® Rotab Arthrometer scheinen die Nicht-Orthesenträger (NO) präoperativ eine bessere posturale Kontrolle im verletzten Kniegelenk zu haben. Eine mögliche Erklärung zielt erneut auf die Traumaanamnese beider Gruppen ab (Abbildung 10). So sind in der Nicht-Orthesengruppe (NO) weniger Probanden mit erlittenem VKB-Trauma im Alltag vorzufinden, als in der orthesenversorgten Studiengruppe. Es besteht also die Möglichkeit zu einer tendenziell sportlich aktiveren NO-Gruppe, mit vermeidlich besserer präoperativer Konstitution. Diese Tendenz ist jedoch nicht durch alle Untersuchungsmethoden zu beobachten und ist dementsprechend eher spekulativ. Die Vergrößerung beider Gruppen könnte dieses Phänomen beheben. Zusammenfassend können jedoch im dynamischen Setting zur Evaluation der posturalen Kontrolle keine signifikanten Unterscheide im postoperativen *Outcome* (Zeitpunkt t1) zwischen den beiden Studiengruppen (O und NO) aufgezeigt werden. Ein bedingter Vergleich kann mit einer Studie von Mattacola et al. (2002) gezogen werden. Im Mittelpunkt ihrer Ausarbeitungen war u.a. der Vergleich der posturalen Kontrolle einer Studiengruppe 18 Monate nach vorderer Kreuzbandplastik (n = 20) mit einer gesunden Kontrollgruppe (n = 20). Im dynamischen Testverfahren (*Biodex Balance System*™) konnte im Einbeinstand kein signifikanter Unterschied der Balancefähigkeit zwischen den beiden Gruppen detektiert werden. Ergebnisse nach einem Vergleich verschiedener Rehabilitationsverfahren nach der Operation und der Prüfung eines früheren postoperativen

Zeitpunktes bleiben jedoch verwehrt. Eine weitere Untersuchung von Alonso et al. (2009), stellte sogar ein signifikantes, posturales Defizit nach vorderer Kreuzbandplastik im Vergleich mit gesunden Knien in dynamischen Balancetests (ebenfalls *Biodex Balance System*™) heraus. Auch hier bleibt die Frage der Nachbehandlungsstrategie unbeantwortet. Zu den Erkenntnissen der Studien von Mattacola et al. (2002) und Alonso et al. (2009) kann durch unsere Studie ein neuer Aspekt zur Evaluation der posturalen Kontrolle in dynamischen Versuchen erbracht werden.

Um die Hypothese einer möglicherweise durch vordere Kreuzbandruptur geschädigten Kaskade der tiefensensorisch-posturalen Wahrnehmung des zentralen und peripheren Nervensystems noch gezielter prüfen zu können, wurde der einbeinige Romberg-Stehversuch durchgeführt (Nieschalk et al. 1995). Eine rein neurologische Erkrankung wird nicht zwingend durch ihn erkannt, sodass der Test durchaus für die Untersuchung der tiefensensiblen Kaskade geeignet ist (Rogers 1980). Betrachten wir die einbeinigen Stehversuche nach Romberg (*single-leg-stance, eyes-closed*) als Verfahren zur Evaluation statischer Balancierfähigkeit nach der vorderen Kreuzbandplastik, so wird zunächst auffällig, dass sowohl präoperativ (Zeitpunkt t0), als auch nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) im Seit-zu-Seit Vergleich die betroffene Extremität beider Gruppen tendenziell schlechtere Standzeiten bot, als die kontralaterale Seite. Alle Vergleiche sind jedoch als nicht signifikant berechnet worden (siehe Tabelle 7; Interpretation) Diese Ergebnisse sind auch in anderen Studien verzeichnet worden. Furlanetto et al. (2016) konnten zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede in statischen Balanceversuchen auf einer Druckmessplatte (*center of pressure*) in anteroposteriorer und lateromedialer Schwingungsrichtung zwischen einer Gruppe von kreuzbandrekonstruierten Probanden nach sechs Monaten und einer Kontrollgruppe kreuzbandgesunder Probanden gibt. Lediglich eine Tendenz zu größeren Schwingungsamplituden der Probanden mit VKB-Plastik ist zu verzeichnen. Wir demonstrieren nun ähnliche Daten mit einer vergleichbaren Gruppengröße sowie dem Vergleich zwischen orthesengebundener und orthesenfreier Nachbehandlung drei Monate nach der Operation und erschließen einen früheren Zeitraum der p. o.-Begutachtung. In der Orthesengruppe konnte eine substantielle Verbesserung der Romberg-Stehversuchzeit mit der betroffenen Extremität vom Zeitpunkt t0 zum Zeitpunkt t1 gemessen werden. Diese gilt jedoch mit 16,3 % bzw. 9,8 Sekunden als nicht signifikant ($p = 0{,}114$). In der Nicht-Orthesengruppen ist die Standzeit drei Monate nach der Operation (Zeitpunkt t1) mit der betroffenen Seite tendenziell ebenfalls mit 20,8 % bzw. 12,5 Sekunden verbessert, als in der vorherigen präoperativen Messung. Die Tendenz ist ebenfalls nicht signifikant ($p = 0{,}169$). Das wiederum könnte bedeuten, dass eine (tendenzielle) Verschlechterung der Standzeit einen Vorteil der Orthese in der posturalen Kontrolle darstellen würde. Birmingham et al. konnten 2001 eine derartige, interessante Beobachtung machen. In ihrer bereits erwähnten Studie zeigten Probanden

mit Orthese nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion signifikant bessere Ergebnisse im stabilen Einbeinstand mit geöffneten Augen (*eyes-open*). Die Orthese schien die Kontrolle der Körperstellung zu beeinflussen und Stabilität zu verleihen. Unterschiede zu den Versuchen unserer Studie sind sowohl der untersuchte Zeitpunkt (hier mindestens sechs Monate nach der Operation), die Versuchsdurchführung mit geöffneten Augen (*eyes-open*) und die Tatsache, dass alle Versuche innerhalb einer einzigen Studiengruppe, einmal mit und einmal ohne Orthese, durchgeführt wurden. Ein präoperativer Vergleich der Daten ist zudem nicht vorhanden. Demnach sind unserer Ergebnisse vor einem anderen Hintergrund zu interpretieren. Ein Vergleich der O- und NO-Gruppe vor der Operation (Zeitpunkt t0) gibt zu erkennen, dass sich beide Gruppen in den Standzeiten nicht voneinander unterscheiden. Eine tendenziell bessere Standzeit der NO-Gruppe mit 8,6 % (5,2 Sekunden) ist nicht signifikant ($p = 0{,}332$). Wie oben bereits beschrieben, gibt der präoperative Seit-zu-Seit Vergleich auch zu erkennen, dass die betroffene Extremität tendenziell schlechter als die kontralaterale, gesunde Seite abschneidet. Nach drei Monaten postoperativ (Zeitpunkt t1) unterscheiden sich Orthesen- und Nicht-Orthesengruppe im statischen, einbeinigen Romberg-Stehversuch mit geschlossenen Augen ebenfalls nicht signifikant voneinander ($p = 0{,}36$). Dennoch wird eine substantielle Stehzeitverlängerung von 13,1 % bzw. 7,9 Sekunden der Probanden aus der NO-Gruppe gegenüber der O-Gruppe verzeichnet. Um diese Tendenz besser beurteilen zu können, müsste die Studie in Teilen verändert werden. Zu den bereits vorhandenen Settings im *single-leg-stance* müssten weitere im *double-leg-stance* folgen. Es könnte ein zusätzlicher Teilversuch zur posturalen Kontrolle im statischen Setting mit geöffneten Augen (*eyes-open*), sowie ein Versuch mit geschlossenen Augen (*eyes-closed*) im dynamischen Setting durchgeführt werden. Zudem vermag eine größere Probandenstärke in beiden Gruppen die dargestellten Tendenzen aus dem dynamischen Balancetest und aus dem statischen Balancetest zugunsten der NO-Gruppe, zu quantifizieren. Bei einer Probandenanzahl von $n = 26$ (t0) bzw. 23 (t1) in der Orthesengruppe und $n = 24$ (t0) bzw. 20 (t1) in der Nicht-Orthesengruppe, ist diese Studie im Kontext vieler Fremdstudien jedoch absolut vergleichbar (Alonso et al. 2009; Birmingham et al. 2001; Furlanetto et al. 2016; Kuster et al. 1999; Mattacola et al. 2002; Rougier et al. 2012; Xie et al. 2011). Eine Studie vergleicht mit deutlichen weniger Probanden (Bonfim et al. 2003). Drei weitere Studien zeigen eine größere Anzahl untersuchter Individuen auf (Clark et al. 2017; Denti et al. 2000; Hatton et al. 2017).

Zusammenfassend können wir im statischen und dynamischen Testverfahren zur Quantifizierung der posturalen Kontrolle drei Monate nach vorderer Kreuzbandplastik keinen signifikanten Unterschied zwischen einer orthesengebundenen und einer orthesenfreien Rehabilitation aufzeigen. Tendenzen sind, wie oben erwähnt, erkennbar und zu deuten. Es verdeutlicht jedoch,

dass der Stellenwert der Orthese in der posturalen Kontrolle nach vorderer Kreuzbandplastik im Vergleich zur orthesenungebundenen Beweglichkeit keinen rehabilitativen Mehrwert zu haben scheint. Die Ergebnisse in Kontrollgruppe (O-Gruppe) und Studiengruppe (NO-Gruppe) zeigen dieses an.

4.3 Schlussfolgerung

Im Vergleich zur aktuell vorliegenden Literatur decken sich unsere Untersuchungen mit den Ergebnissen anderer Studien in der Art der Rehabilitation nach vorderer Kreuzbandplastik mit der Patellarsehne. Wir liefern nun allerdings neue und wichtige Ergebnisse zum arthrometrischen, propriozeptiven und posturalen *Outcome* in der Fragestellung des Stellenwertes einer Orthese im Vergleich der orthesenfreien Nachbehandlung nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes mit einem Semitendinosus- bzw. Gracilissehentransplantat.

Es konnte erstmalig gezeigt werden, dass die orthesenfreie Nachbehandlung eines vorderen Kreuzbandersatzes mit *Hamstring*-Sehnen der mit Orthese ebenbürtig ist, wodurch der Stellenwert der Orthese auch bei Verwendung der Semitendinosus-/Gracilissehne hinterfragt werden kann.

5. Zusammenfassung

Die Verwendung einer Orthese in der rehabilitativen Phase einer vorderen Kreuzbandplastik wird aktuell kontrovers diskutiert. Es gibt einige Studien die Vorteile, aber auch Nachteile dieser Nachbehandlungsstrategie darlegen und in teils großen Vergleichsstudien mit Alternativen zur Orthese, wie einem *Neoprensleeve* oder der freien Beweglichkeit vergleichen. Der weitaus größte Teil dieser Studien verwendete die Patellarsehne als Transplant zur vorderen Kreuzbandplastik. Somit ist eine Vergleichbarkeit zu unserer Studie nicht vollends möglich. Nur wenige Studien zum genannten Thema befassen sich mit dem *Outcome* von Semitendinosus- bzw. Gracilistransplantaten im Vergleich der beiden Nachbehandlungsstrategien.

Die Auswertungen der vorliegenden Studie zeigt keinen Vorteil in der Verwendung einer Orthese im aktuell verwendeten Rehabilitationsprotokoll der Universitätsmedizin Göttingen nach vorderer Kreuzbandplastik im Vergleich zur orthesenfreien Nachbehandlung. Eine Gleichwertigkeit beider Verfahren konnte dabei durch Ausschluss signifikanter Unterschiede in der Stabilitätsmessung mittels Arthrometrie (GNRB® Rotab), im isometrischen Versuch über das Goniometer sowie in der Untersuchung der posturalen Standkontrolle durch das dynamische Balanceboard und den statischen einbeinigen Romberg-Stehversuch nach drei Monaten postoperativ gezeigt werden. Signifikante Unterschiede zum postoperativen Zeitpunkt fanden sich in der Analyse des *Knee Society* Funktionsscores zugunsten der Probanden ohne Orthesentherapie. In den restlichen klinischen Scores wurden keine Unterschiede deutlich.

Kritisch zu sehen sind präoperative Unterschiede zwischen der Orthesen- und der Nicht-Orthesengruppe in *Oxford Knee Score*, Tegner-Aktivitätslevel, sowie in der Arthrometrie mit 200 N Belastung auf dem vorderen Kreuzband. Diese sind mutmaßlich durch eine ungünstige Randomisierung zu erklären. Die Bias hierfür könnte ein zufällig aufgetretenes Ungleichgewicht verschiedener Sport- und Aktivitätslevel zwischen beiden Gruppen sein. Drei Monate nach der Operation sind diese Differenzen nicht mehr zu beobachten.

Falls die Betrachtung zu einem späteren postoperativen Zeitpunkt, d. h. nach 6, 12 oder 24 Monaten ebenfalls keinen Vorteil einer Orthesentherapie liefern sollte, kann die Bewegungslimitierung nach vorderer Kreuzbandplastik mit Semitendinosus- bzw. Gracilissehnentransplantat als unnötig angesehen werden.

Einen weiteren Ausblick stellen Studien zur uneingeschränkte Bewegungs- oder Belastungsfreigabe dar. Eine Optimierung der Ergebnisse wäre zudem vorstellbar, wenn Patienten mit und ohne begleitende Meniskusläsion verglichen werden könnten. Eine

Vergrößerung der einzelnen Probandengruppen würde das Ergebnis dabei noch deutlicher machen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass mit der vorliegenden Studie erstmalig für den Zeitpunkt drei Monate nach Ersatz des vorderen Kreuzbandes mittels Semitendinosus-/Gracilissehnentransplantat kein Vorteil in der Nachbehandlung mit Orthese gezeigt werden konnte. Werden diese Ergebnisse auch langzeitig bestätigt, kann man zur orthesenfreien Nachbehandlung raten.

6. Anhang

Votum der Ethikkommission

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GÖTTINGEN UMG

Ethik-Kommission der Universitätsmedizin Göttingen, Von-Siebold-Straße 3, 37075 Göttingen

Herrn
Dr. med. Christoph Obermeyer
Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie
Abt. Unfallchirurgie, Plastische- und
Wiederherstellungschirurgie
Robert-Koch-Straße 40

Ethik-Kommission der
Universitätsmedizin Göttingen
Vorsitzender: Prof. Dr. Jürgen Brockmöller
Referentin
Regierungsrätin Doris Wettschereck
0551 / 39-8644 Telefon

Von-Siebold-Straße 3, 37075 Göttingen
Adresse
0551 / 39-6629 **Telefon**
0551 / 39-9536 **Fax**
ethik@med.uni-goettingen.de **E-Mail**
www.ethikkommission.med.uni-goettingen.de

vorab per E-Mail: Christoph.obermeyer@med.uni-goettingen.de

10.02.2015 br – we - gö Datum

Antragsnummer:	**8/1/15 (bitte stets angeben)**
Studientitel:	Schienenbehandlung vs. freie Nachbehandlung in der postoperativen Therapie der vorderen Kreuzbandplastik
Antragsteller:	Dr. med. Christoph Obermeyer, PD Dr. med. Martin Wachowski, Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Abt. Unfallchirurgie, Plastische- und Wiederherstellungschirurgie, UMG

Zur Begutachtung lagen vor:
Anschreiben vom 21.12.2014
Kurzantrag
Formblatt zur Datenerhebung
Informationsschrift für die Patientenaufklärung
Einverständniserklärung

Sehr geehrter Herr Dr. Obermeyer, sehr geehrte Damen und Herren,

die Ethikkommission der Universitätsmedizin Göttingen hat Ihren Antrag auf Durchführung des o.g. Forschungsprojekts in der Sitzung am 22.01.2015 beraten.

Gegen das von Ihnen vorgelegte Studienvorhaben bestehen keine medizin-ethischen oder rechtlichen Bedenken:

Bitte beachten Sie vor Studienbeginn folgende Hinweise:

- Bitte ergänzen Sie im Studienprotokoll sowohl die Fallzahl und die jeweilige Gruppengröße sowie das Einschlusskriterium > 18 Jahre. Bei vorliegender randomisierter Studie ist eine biometrisch begründete Fallzahlplanung obligatorisch. Bitte lassen Sie sich diesbezüglich gegebenenfalls von der Abteilung medizinische Statistik dazu beraten.
- Bezüglich der klinischen Nachuntersuchungen sollte der Untersucher/die Untersucherin mit dokumentiert werden und es sollte im Studienprotokoll festgelegt werden, welche Mindestausbildung die Untersucher haben müssen. Insbesondere wenn Berufsanfänger oder Studierende hier beteiligte sein sollen, ist deren Einarbeitung und Supervision nachvollziehbar zu dokumentieren.
- Bitte ändern Sie im Fragebogen S. 14 die Frage unter Punkt 4 die Formulierung „rassische Zugehörigkeit". Falls die ethnische Zugehörigkeit tatsächlich nach Ihren Informationen hier eine Rolle spielen könnte, sollte es sicher politisch korrekte und nicht historisch belastete Formulierungen dafür geben. Korrigieren Sie bitte ferner unter Punkt 6. die doppelte Antwort unter Kasten 3.
- Auf S. 26 erwähnen Sie einen Röntgenbefund, den Sie im Rahmen der klinischen Untersuchung des Kniegelenks auswerten wollen. Bitte klären Sie vorab, ob der Einsatz von Röntgenstrahlen hier im Rahmen der üblichen medizinischen Routine erfolgt oder studienbedingt zusätzlich gemacht wird. Im letzteren Fall bedarf es einer vorherigen Genehmigung des Bundesamtes für Strahlenschutz.
- Bitte verwenden sie für Informationsschrift und Einwilligungserklärung einen Briefkopf mit den entsprechenden Kontaktdaten des Studienzentrums.

UNIVERSITÄTSMEDIZIN GÖTTINGEN UMG

Seite 2 zu Schreiben vom 10.02.2015 zu Studie 8/1/15

- Auf S. 32 Patienteninformation letzter Absatz wird für den Laien nicht klar, was zur klinikublichen Nachsorge gehört und was studienbedingt ist. Nur soweit sich aus einer studienbedingten Maßnahme ein Risiko ergibt, sind diese in der Patienteninformation aufzuführen.
- Eine Reihe von Formulierungen in der Informationsschrift sind ohne medizinische Fachkenntnisse nicht verständlich („Ersatzplastik", „Patellasehne", „OP", „(Semitendinosis-Sehne,"Hamstring")", ...), bitte ändern Sie das. Bitte denken Sie ferner daran, dass alle Formulierungen in einer einfachen, für alle verständlichen Sprache vermittelt werden (Regeln für einfache Sprache sind heute im Internet leicht zu finden).
- Bitte überarbeiten Sie den Datenschutzpassus. Es ist nicht klar verständlich, ob die Daten pseudonymisiert oder anonymisiert werden.
- Wir haben uns gefragt, warum an Stelle von Prof. Stürmer hier Herr Prof. Dresing unterschrieben hat und wir gehen davon aus, dass der aktuelle Leiter der Klinik über die Studie informiert und mit der Durchführung der Studie einverstanden ist.

Bei der Durchführung der Studie wünschen wir Ihnen viel Erfolg!

Soweit Sie entsprechend den Hinweisen Ihre Dokumente anpassen und eine neue Versionsnummer(/-datum) vergeben, bitten wir um die Übersendung der finalen Version der jeweiligen Studienunterlagen zu unseren Akten (in einfacher Kopie und in der Korrekurfassung). Nur so kann im Falle einer nachträglichen Änderung (Amendment) eine schnelle Bearbeitung sichergestellt werden.

Unabhängig vom Beratungsergebnis macht die Ethik-Kommission darauf aufmerksam, dass die ethische und rechtliche Verantwortung für die Durchführung einer wissenschaftlichen Studie beim verantwortlichen Studienarzt und aller an der Studie beteiligten Ärzte liegt.

Alle Änderungen im Studienprotokoll müssen der Ethik-Kommission vorgelegt werden und dürfen erst nach der zustimmenden Bewertung umgesetzt werden.

Über alle schwerwiegenden unerwarteten unerwünschten Ereignisse, die während der Studie auftreten und die Sicherheit der Studienteilnehmer oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen könnten, muss die Ethik-Kommission unterrichtet werden.

Der Abschluss/Abbruch der Studie ist mitzuteilen und ein Abschluss Bericht vorzulegen.

Auf die Einhaltung einschlägiger Gesetze und Rechtsvorschriften wird hingewiesen. Die nach Rechtslage notwendigen Unterrichtungen (u. A. Änderung des Studienprotokolls, Meldung von Zwischenfällen, neue Datenlage, Nachmeldung von Prüfzentren, Abschlussbericht) sind der Ethik-Kommission unverzüglich vorzulegen.

Die Ethik-Kommission bestätigt, dass sie auf Grundlage nationaler Gesetze, Vorschriften sowie der GCP/ICH-Richtlinie arbeitet.

Mit freundlichen Grüßen

i.A.

Prof. Dr. med. J. Brockmöller
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Fragebogen

II. Knee Society Score (KSS)

A. Kniescore

I. Schmerzen:

kein Schmerz	o 50
leicht oder gelegentlich	o 45
nur beim Treppensteigen	o 40
beim Gehen und Treppensteigen	o 30
mäßiger Schmerz	
gelegentlich	o 20
ständig	o 10
starker Schmerz	o 0

II. Extension/Flexion: ____/____/____

1 Punkt pro 5°, max. 25 Punkte ..... _____

III. Stabilität:

anterioposterior	<5 mm	o 10
	5-10 mm	o 5
	>10 mm	o 0
mediolateral	<5°	o 15
	6° - 9°	o 10
	10 – 14°	o 5
	>15°	o 0

IV. Abzüge:

Beugekontraktur:	unter 5°	o 0
	6° - 10°	o -2
	11° - 15°	o -5
	16° - 20°	o -10
	über 20°	o -15
Streckdefizit:	kein	o 0
	unter 10°	o -5
	10° - 20°	o -10
	über 20°	o -15
Varus-/Valguseinstellung:	5° - 10° (normal)	o 0
	4° oder 11°	o -3
	3° oder 12°	o -6
	2° oder 13°	o -9
	1° oder 14°	o -12
	0° oder 15°	o -15
	Varus oder >15°	o -20

B. Funktionsscore

I. Gehstrecke:

unbegrenzt	o 50
über 1000 m	o 40
500 – 1000 m	o 30
weniger als 500 m	o 20
hausgebunden	o 10
gehunfähig	o 0

II. Treppensteigen:

normal hoch und herunter	o 50
normal hoch, herunter mit Geländer	o 40
hoch und herunter mit Geländer	o 30
hoch mit Geländer, herunter unmöglich	o 15
unmöglich	o 0

III. Abzüge:

1 Gehstock	o -5
2 Gehstöcke	o -10
Gehstützen oder Gehwagen	o -20

IV. Oxford Knee Score (OKS)

Fragebogen zum Befinden Ihres kranken bzw. operierten Knies

In diesem Fragebogen geht es um Ihre Beurteilung Ihres kranken bzw. operierten Knies. Die Ergebnisse zeigen im Zeitablauf, ob Sie beschwerdefrei oder mit Beschwerden und Beeinträchtigungen Ihres Knies leben.

Bitte beantworten Sie jede der folgenden Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

Frage	Antworten
1. Beschreiben Sie den Schmerz, den Sie normalerweise in Ihrem Knie verspüren.	1 – kein 2 – sehr gering 3 – gering 4 – mäßig 5 – stark
2. Waren Sie in Ihrer Körperpflege irgendwie durch Ihr Knie behindert?	1 – keine Behinderung 2 – sehr gering 3 – mäßig 4 – starke Probleme 5 – nicht durchführbar
3. Waren Sie durch Ihr Knie beim Ein- und Aussteigen aus dem Auto bzw. öffentlichen Verkehrsmitteln behindert?	1 – keine Probleme 2 – sehr geringe Probleme 3 – mäßige Probleme 4 – starke Probleme 5 – unmöglich
4. Wie lange können Sie gehen, bevor ein stärkerer Knieschmerz auftritt?	1 – keine Begrenzung 2 – 16-60 Minuten 3 – 5-15 Minuten 4 – im Haus herum 5 – tritt immer auf
5. Verspüren Sie Schmerzen, wenn Sie nach längerem Sitzen vom Stuhl aufstehen?	1 – überhaupt nicht 2 – gering schmerzhaft 3 – mäßig schmerzhaft 4 – sehr schmerzhaft 5 – unerträglich
6. Hinken Sie wegen Ihres Kniegelenkes?	1 – selten / nie 2 – manchmal / nur am Anfang 3 – oft, nicht nur am Anfang 4 – fast immer 5 – immer
7. Können Sie in die Knie gehen und danach wieder aufstehen?	1 – ohne Probleme 2 – mit etwas Schwierigkeiten 3 – mit mäßigen Schwierigkeiten 4 – mit starken Schwierigkeiten 5 – nicht möglich
8. Verspüren Sie Schmerzen nachts im Bett?	1 – überhaupt nicht 2 – nur 1-2 Nächte 3 – einige Nächte 4 – die meisten Nächte 5 – jede Nacht
9. Wie stark hat Sie Ihr Knieschmerz in Ihrer Arbeit behindert?	1 – überhaupt nicht 2 – ein wenig 3 – mäßig 4 – stark 5 – total
10. Knicken Sie mit Ihrem Knie manchmal ein?	1 – nie 2 – manchmal / nur am Anfang 3 – oft / nicht nur am Anfang 4 – die meiste Zeit 5 – immer

11.	Können Sie Haushaltseinkäufe allein erledigen?	1 – ohne Probleme 2 – mit geringen Problemen 3 – mit mäßigen Problemen 4 – mit starken Problemen 5 – nicht möglich
12.	Können Sie die Treppe heruntergehen?	1 – ohne Probleme 2 – mit geringen Problemen 3 –mit mäßigen Problemen 4 – mit starken Problemen 5 – nicht möglich

III. Visuelle Analogskala Schmerz

Markieren Sie mit einem Strich, wie stark Sie den Schmerz
In Ihrem Kniegelenk zum jetzigen Zeitpunkt empfinden

0 steht für keinen Schmerz und
10 für den maximal vorstellbaren Schmerz.

0 _____ 10

Tegner Score

Punkte	*Aktivität*
0	Arbeitsunfähigkeit oder Berentung auf Grund von Knieproblemen
1	Sitzende Berufstätigkeit Spazierengehen auf ebener Strecke möglich
2	Körperlich leichte Arbeit (z.B. Verkäuferin, Lehrer)
3	Körperlich mittelschwere Arbeit (z.B. Krankenschwester, Koch, Hausfrau mit kleinem Haushalt) Leistungs- oder Freizeitsport: Schwimmen, Wandern (ca. 5 km)
4	Körperlich schwere Arbeit (z.B. Maler, Hausfrau mit großem Haushalt) Freizeitsport: Radfahren, Skilanglauf, Joggen 2x/Woche auf ebender Straße
5	Körperliche Schwerstarbeit (z.B. Bergbau, Straßenbau, Waldarbeiten) Freizeitsport: Joggen 2x/Woche auf unebener Straße
6	Freizeitsport: Tennis, Badminton, Handball, Basketball, Ski (Abfahrt) Joggen häufiger als 2x/Woche
7	Leistungssport: Tennis, Leichtathletik (Laufen), Handball, Basketball, Querfeldeinlauf Freizeitsport: Fußball, Hockey, Squash, Leichtathletik (Weitsprung)
8	Leistungssport: Hockey, Squash, Leichtathletik (Weitsprung), Ski (Abfahrt)
9	Leistungssport: Fußball (niedrige Klassen), Eishockey, Ringen, Geräteturnen
10	Leistungssport: Fußball (Profi, nationale und internationale Ligen)

Ergebnis: _____ Punkte

7. Literaturverzeichnis

Agneskirchner JD, Burkart A, Imhoff AB (2002): Achsenfehlstellung, Knorpelschaden und Kreuzbandruptur − Begleiteingriffe bei der vorderen Kreuzbandruptur. Unfallchirurg 105, 237–245

Alonso AC, Greve JM, Camanho GL (2009): Evaluating the center of gravity of dislocations in soccer players with and without reconstruction of the anterior cruciate ligament using a balance platform. Clinics (Sao Paulo) 64, 163–170

Alshewaier S, Yeowell G, Fatoye F (2016): The effectiveness of pre-operative exercise physiotherapy rehabilitation on the outcomes of treatment following anterior cruciate ligament injury: A systematic review. Clin Rehabil 31, 34-44

Anderson CJ, Ziegler CG, Wijdicks CA, Engebretsen L, LaPrade RF (2012): Arthroscopically pertinent anatomy of the anterolateral and posteromedial bundles of the posterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am 94, 1936–1945

Andersson C, Odensten M, Good L, Gillquist J (1989): Surgical or non-surgical treatment of acute rupture of the anterior cruciate ligament. A randomized study with long-term follow-up. J Bone Joint Surg Am 71, 965–974

Andersson C, Gillquist J (1992): Treatment of acute isolated and combined ruptures of the anterior cruciate ligament. A long-term follow-up study. Am J Sports Med 20, 7–12

Angoules AG, Mavrogenis AF, Dimitriou R, Karzis K, Drakoulakis E, Michos J, Papagelopoulos PJ (2011): Knee proprioception following ACL reconstruction; a prospective trial comparing hamstrings with bone-patellar tendon-bone autograft. Knee 18, 76–82

Armour T, Forwell L, Litchfield R, Kirkley A, Amendola N, Fowler PJ (2004): Isokinetic evaluation of internal/external tibial rotation strength after the use of hamstring tendons for anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 32, 1639–1643

Barenius B, Ponzer S, Shalabi A, Bujak R, Norlén L, Eriksson K (2014): Increased risk of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction: a 14-year follow-up study of a randomized controlled trial. Am J Sports Med 42, 1049–1057

Barrack RL, Skinner HB, Cook SD (1984): Proprioception of the knee joint. Paradoxical effect of training. Am J Sports Med 63, 175–181

Barrack RL, Skinner HB, Buckley SL (1989): Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. Am J Sports Med 17, 1–6

Barrett DS, Cobb AG, Bentley G (1991): Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. J Bone Joint Surg Br 73, 53–56

Baverel L, Cucurulo T, Lutz C, Colombet I, Cournapeau J, Dalmay F, Lefevre N, Letartre R, Potel JF, Roussignol X et al. (2016): Anesthesia and analgesia methods for outpatient anterior cruciate ligament reconstruction. Orthop Traumatol Surg Res 102, 251-255

Beard DJ, Dodd CA, Trundle HR, Simpson AH (1994): Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency. A prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. J Bone Joint Surg Br 76, 654–659

Becker R, Röpke M, Nebelung W (2002): Die vordere Kruezbandplastik – Transplantatwahl und Verankerungstechniken. Zentralbl Chir 127, 842–849

Benninghoff A, Drenckhahn D (Hrsg.): Anatomie; Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie (Band 1); 17. Auflage; Elsevier GmbH; Urban & Fischer, München 2008

Beynnon BD, Good L, Risberg MA (2002): The effect of bracing on proprioception of knees with anterior cruciate ligament injury. J Orthop Sports Phys Ther 32, 11–15

Beynnon BD, Ryder SH, Konradsen L, Johnson RJ, Johnson K, Renström PA (1999): The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception. Am J Sports Med 27, 150–155

Beynnon BD, Fleming BC, Churchill DL, Brown D (2003): The effect of anterior cruciate ligament deficiency and functional bracing on translation of the tibia relative to the femur during nonweightbearing and weightbearing. Am J Sports Med 31, 99–105

Biau DJ, Tournoux C, Katsahian S, Schranz PJ, Nizard RS (2006): Bone-patellar tendon-bone autografts versus hamstring autografts for reconstruction of anterior cruciate ligament: meta-analysis. BMJ 332, 995–1001

Birmingham TB, Kramer JF, Kirkley A, Inglis JT, Spaulding SJ, Vandervoort AA (2001): Knee bracing after ACL reconstruction: effects on postural control and proprioception. Med Sci Sports Exerc 33, 1253–1258

Birmingham TB, Kramer JF, Kirkley A (2002): Effect of a functional knee brace on knee flexion and extension strength after anterior cruciate ligament reconstruction. Arch Phys Med Rehabil 83, 1472–1475

Birmingham TB, Bryant DM, Giffin JR, Litchfield RB, Kramer JF, Donner A, Fowler PJ (2008): A randomized controlled trial comparing the effectiveness of functional knee brace and neoprene sleeve use after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Sports Med 36, 648–655

Boden BP, Sheehan FT, Torg JS, Hewett TE (2010): Noncontact anterior cruciate ligament injuries: mechanisms and risk factors. J Am Acad Orthop Surg 18, 520–527

Boerboom AL, Huizinga MR, Kaan WA, Stewart RE, Hof AL, Bulstra SK, Diercks RL (2008): Validation of a method to measure the proprioception of the knee. Gait Posture 28, 610–614

Bonfim TR, Jansen Paccola CA, Barela JA (2003): Proprioceptive and behavior impairments in individuals with anterior cruciate ligament reconstructed knees. Arch Phys Med Rehabil 84, 1217–1223

Bonnaire F, Berwarth H, Münst P, Eichinger S, Kuner EH (1995): Can the results of cruciate ligament operations be arthrometrically evaluated? A comparison of subjective assessment, Lysholm score, clinical stability classification and measuring stability with the KT 1000 after complex knee injuries. Unfallchirurgie 21, 83–91

Brand A, Klöpfer-Krämer I, Morgenstern M, Kröger I, Michel B, Thannheimer A, Müßig JA, Augat P (2017): Effects of knee orthosis adjustment on biomechanical performance and clinical outcome in patients with medial knee osteoarthritis. Prosthet Orthot Int 41, 587–594

Brandsson S, Faxén E, Kartus J, Eriksson BI, Karlsson J (2001): Is a knee brace advantageous after anterior cruciate ligament surgery? A prospective, randomised study with a two-year follow-up. Scand J Med Sci Sports 11, 110–114

Briggs KK, Steadman JR, Hay CJ, Hines SL (2009): Lysholm score and Tegner activity level in individuals with normal knees. Am J Sports Med 37, 898–901

Cabaud HE (1984): Die Biomechanik des vorderen Kreuzbandes. Z Orthop Unfall 2, 105–109

Çabuk H, Kuşku Çabuk F (2016): Mechanoreceptors of the ligaments and tendons around the knee. Clin Anat 29, 789–795

Caraffa A, Cerulli G, Projetti M, Aisa G, Rizzo A (1996): Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4, 19–21

Carter ND, Jenkinson TR, Wilson D, Jones DW, Torode AS (1997): Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. Br J Sports Med 31, 209–212

Casteleyn PP, Handelberg F (1996): Non-operative management of anterior cruciate ligament injuries in the general population. J Bone Joint Surg Br 78, 446–451

Chang SK, Egami DK, Shaieb MD, Kan DM, Richardson AB (2003): Anterior cruciate ligament reconstruction: allograft versus autograft. Arthroscopy 19, 453–462

Chen CH, Chuang TY, Wang KC, Chen WJ, Shih CH (2006): Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction with quadriceps tendon autograft: clinical outcome in 4-7 years. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14, 1077–1085

Clark RA, Bell SW, Feller JA, Whitehead TS, Webster KE (2017): Standing balance and inter-limb balance asymmetry at one year post primary anterior cruciate ligament reconstruction: Sex differences in a cohort study of 414 patients. Gait Posture 52, 318–324

Collette M, Courville J, Forton M, Gagnière B (2012): Objective evaluation of anterior knee laxity; comparison of the KT-1000 and GNRB® arthrometers. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 20, 2233–2238

Corrigan JP, Cashman WF, Brady MP (1992): Proprioception in the cruciate deficient knee. J Bone Joint Surg Br 74, 247–250

Cossich V, Mallrich F, Titonelli V, de Sousa EB, Velasques B, Salles JI (2014): Proprioceptive deficit in individuals with unilateral tearing of the anterior cruciate ligament after active evaluation of the sense of joint position. Rev Bras Ortop 49, 607–612

Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC, Rossman DJ, Kaufman KR (1994): Fate of the ACL-injured patient. A prospective outcome study. Am J Sports Med 22, 632–644

Dawson J, Fitzpatrick R, Murray D, Carr A (1998): Questionnaire on the perceptions of patients about total knee replacement. J Bone Joint Surg Br 80, 63–69

DeAngelis JP, Fulkerson JP (2007): Quadriceps tendon – a reliable alternative for reconstruction of the anterior cruciate ligament. Clin Sports Med 26, 587–596

Denti M, Randelli P, Lo Vetere D, Moioli M, Bagnoli I, Cawley PW (2000): Motor control performance in the lower extremity: normals vs. anterior cruciate ligament reconstructed knees 5-8 years from the index surgery. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 8, 296–300

Di Miceli R, Marambio CB, Zati A, Monesi R, Benedetti MG (2017): Do Knee Bracing and Delayed Weight Bearing Affect Mid-Term Functional Outcome after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction? Joints 5, 202–206

Duquin, TR (2009) Current trends in anterior cruciate ligament reconstruction. J Knee Surg 22, 7–12.

Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J (2006): Anatomy of the anterior cruciate ligament. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14, 204–213

Dye SF, Wojtys EM, Fu FH, Fithian DC, Gillquist I (1999): Factors contributing to function of the knee joint after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. Instr Course Lect 48, 185–198

Eberhardt C, Jäger A, Schwetlick G, Rauschmann MA (2002): History of surgery of the anterior cruciate ligament. Orthopade 31, 702–709

Eriksson K, von Essen C, Jönhagen S, Barenius B (2018): No risk of arthrofibrosis after acute anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 26, 2875–2882

Estes K, Cheruvu B, Lawless M, Laughlin R, Goswami T (2015): Risk assessment for anterior cruciate ligament injury. Arch Orthop Trauma Surg 135, 1437–1443

Farber J, Harris JD, Kolstad K, McCulloch PC (2014): Treatment of Anterior Cruciate Ligament Injuries by Major League Soccer Team Physicians. Orthop J Sports Med 2, 2325967114559892 published online 2014 Nov 24

Fink C, Hoser C, Benedetto KP (1993): Sports capacity after rupture of the anterior cruciate ligament--surgical versus non-surgical therapy. Aktuelle Traumatol 23, 371–375

Fink C, Hoser C, Benedetto KP, Hackl W, Gabl M (1996): Long-term outcome of conservative or surgical therapy of anterior cruciate ligament rupture. Unfallchirurg 99, 964–969

Fink C, Hoser C, Hackl W, Navarro RA, Benedetto KP (2001): Long-term outcome of operative or nonoperative treatment of anterior cruciate ligament rupture--is sports activity a determining variable? Int J Sports Med 22, 304–309

Fischer-Rasmussen T, Jensen PE (2000): Proprioceptive sensitivity and performance in anterior cruciate ligament-deficient knee joints. Scand J Med Sci Sports 10, 85–89

Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, Luetzow WF, Csintalan RP, Phelan D, Daniel DM (2005): Prospective trial of a treatment algorithm for the management of the anterior cruciate ligament-injured knee. Am J Sports Med 33, 335-346

Fleming BC, Renstrom PA, Beynnon BD, Engstrom B, Peura G (2000): The influence of functional knee bracing on the anterior cruciate ligament strain biomechanics in weightbearing and nonweightbearing knees. Am J Sports Med 28, 815–824

Freedman KB, D'Amato MJ, Nedeff DD, Kaz A, Bach BR Jr (2003): Arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a metaanalysis comparing patellar tendon and hamstring tendon autografts. Am J Sports Med 31, 2–11

Fremerey RW, Lobenhoffer P, Zeichen J, Skutek M, Bosch U, Tscherne H (2000): Proprioception after rehabilitation and reconstruction in knees with deficiency of the anterior cruciate ligament: a prospective, longitudinal study. J Bone Joint Surg Br 82, 801–806

Fridén T, Roberts D, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U (1997): Proprioception after an acute knee ligament injury: a longitudinal study on 16 consecutive patients. J Orthop Res 15, 637–644

Frobell RB, Roos EM, Roos HP, Ranstam J, Lohmander LS (2010): A randomized trial of treatment for acute anterior cruciate ligament tears. N Engl J Med 363, 331–342.

Furlanetto TS, Peyré-Tartaruga LA, do Pinho AS, Bernardes Eda S, Zaro MA (2016): Proprioception, Body Balance and Functionality in individuals with ACL Reconstruction. Acta Ortop Bras 24, 67–72

Garrison JC, Bothwell JM, Wolf G, Aryal S, Thigpen CA (2015): Y Balance TestTM Anterior reach symmetry at three months is relates to single leg functional performance at time of return to sports following anterior cruciate ligament reconstruction. Int J Sports Phys Ther 10, 602–611

Gillquist J, Messner K (1999): Anterior cruciate ligament reconstruction and the long-term incidence of gonarthrosis. Sports Med 27, 143–156

Giotis D, Paschos NK, Zampeli F, Pappas E, Mitsionis G, Georgoulis AD (2016): Bracing can partially limit tibial rotation during stressful activities after anterior crucial ligament reconstruction with a hamstring graft. Orthop Traumatol Surg Res 102, 601–606

GNRB Rotab (Schlagwort): http://www.genourob.com/de/diagnostic-ligaments_gerate_gnrb-rotam_gnrb-rotab.phtml; abgerufen am 31.07.2018 und 26.06.2019

Gobbi A, Domzalski M, Pascual J, Zanazzo M (2005): Hamstring anterior cruciate ligament reconstruction: is it necessary to sacrifice the gracilis? Arthroscopy 21, 275–280

Goldblatt JP, Fitzsimmons SE, Balk E, Richmond JC (2005): Reconstruction of the anterior cruciate ligament: meta-analysis of patellar tendon versus hamstring tendon autograft. Arthroscopy 21, 791–803

Gorschewsky O, Klakow A, Pütz A, Mahn H, Neumann W (2007): Clinical comparison of the autologous quadriceps tendon (BQT) and the autologous patella tendon (BPTB) for the reconstruction of the anterior cruciate ligament. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15, 1284–1292

Grøntvedt T, Engebretsen L (1995): Comparison between two techniques for surgical repair of the acutely torn anterior cruciate ligament. A prospective, randomized follow-up study of 48 patients. Scand J Med Sci Sports 5, 358–363

Grøntvedt T, Engebretsen L, Benum P, Fasting O, Mølster A, Strand T (1996): A prospective, randomized study of three operations for acute rupture of the anterior cruciate ligament. Five-year follow-up of one hundred and thirty-one patients. J Bone Joint Surg Am 78, 159–168

Harilainen, A, Sandelin J (2006): Post-operative use of knee brace in bone-tendon-bone patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction: 5-year follow-up results of a randomized prospective study. Scand J Med Sci Sports 16, 14–18

Harner CD, Olson E, Irrgang JJ, Silverstein S, Fu FH, Silbey M (1996): Allograft versus autograft anterior cruciate ligament reconstruction: 3- to 5-year outcome. Clin Orthop Relat Res 324, 134–144

Harris K, Driban JB, Sitler MR, Cattano NM, Hootman JM (2015): Five-year clinical outcomes of a randomized trial of anterior cruciate ligament treatment strategies: an evidence-based practice paper. J Athl Train 50, 110–112

Harrison EL, Duenkel N, Dunlop R, Russell G (1994): Evaluation of single-leg standing following anterior cruciate ligament surgery and rehabilitation. Phys Ther 74, 245–252

Harter RA, Osternig LR, Singer KM, James SL, Larson RL, Jones DC (1988): Long-term evaluation of knee stability and function following surgical reconstruction for anterior cruciate ligament insufficiency. Am J Sports Med 16, 434–443

Hasan HA (2004): Tegner and Lysholm scores in brace-free rehabilitation. Saudi Med J 25, 1962–1966.

Hatton AL, Crossley KM, Clark RA, Whitehead TS, Morris HG, Culvenor AG (2017): Between-leg differences in challenging single-limb balance performance one year following anterior cruciate ligament reconstruction. Gait Posture 52, 22–25

Henriksson M, Ledin T, Good L (2001): Postural control after anterior cruciate ligament reconstruction and functional rehabilitation. Am J Sports Med 29, 359–366

Herbst E, Hoser C, Gföller P, Hepperger C, Abermann E, Neumayer K, Musahl V, Fink C (2016): Impact of surgical timing on the outcome of anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 25, 569-577

Hertel P (1996): Frische und alte Kniebandverletzungen. Unfallchirurg 99, 686–700

Hillard-Sembell D, Daniel DM, Stone ML, Dobson BE, Fithian DC (1996): Combined injuries of the anterior cruciate and medial collateral ligaments of the knee. Effect of treatment on stability and function of the joint. J Bone Joint Surg Am 78,169–176

Hoffelner T, Resch H, Moroder P, Atzwanger J, Wiplinger M, Hitzl W, Tauber M (2012): No increased occurrence of osteoarthritis after anterior cruciate ligament reconstruction after isolated anterior cruciate ligament injury in athletes. Arthroscopy 28, 517–525

Hoshino Y, Wang JH, Lorenz S, Fu FH, Tashman S (2012): Gender difference of the femoral kinematics axis location and its relation to anterior cruciate ligament injury: a 3D-CT study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 20, 1282–1288

Houck J, Yack HJ (2001): Giving way event during a combined stepping and crossover cutting task in an individual with anterior cruciate ligament deficiency. J Orthop Sports Phys Ther 31, 481–489

Howell SM, Taylor MA (1996): Brace-free rehabilitation, with early return to activity, for knees reconstructed with a double-looped semitendinosus and gracilis graft. J Bone Joint Surg Am 78, 814–825

Howells BE, Ardern CL, Webster KE (2011): Is postural control restored following anterior cruciate ligament reconstruction? A systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 19, 1168–1177

Inagaki Y, Kondo E, Kitamura N, Onodera J, Yagi T, Tanaka Y, Yasuda K (2013): Prospective clinical comparisons of semitendinosus versus semitendinosus and gracilis tendon autografts for anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. J Orthop Sci 18, 754–761

Insall JN, Dorr LD, Scott RD, Scott WN (1989): Rationale of the Knee Society clinical rating system. Clin Orthop Relat Res 248, 13–14

Ishii Y, Terajima K, Terashima S, Bechtold JE, Laskin RS (1997): Comparison of joint position sense after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 12, 541–545

Jackson DW, Windler GE, Simon TM (1990): Intraarticular reaction associated with the use of freeze-dried, ethylene oxide-sterilized bone-patella tendon-bone allografts in the reconstruction of the anterior cruciate ligament. Am J Sports Med 18, 1–10

Jagodzinski M, Friederich N, Müller W (Hrsg.): Das Knie; Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie. 2. Auflage; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Jenny JY, Puliero B, Schockmel G, Harnoist S, Clavert P (2017): Experimental validation of the GNRB® for measuring anterior tibial translation. Orthop Traumatol Surg Res 103, 363–366

Jerosch J, Schmidt K, Prymka M (1997): Proprioceptive capacities of patients with retropatellar knee pain with special reference to effectiveness of an elastic knee bandage. Unfallchirurg 100, 719–723

Johnson VL, Kwoh CK, Guermazi A, Roemer F, Boudreau RM, Fujii T, Hannon MJ, Hunter DJ (2015): Loss of anterior cruciate ligament integrity and the development of radiographic knee osteoarthritis: a sub-study of the osteoarthritis initiative. Osteoarthritis Cartilage 23, 882–887

Jomha NM, Borton DC, Clingeleffer AJ, Pinczewski LA (1999): Long-term osteoarthritic changes in anterior cruciate ligament reconstructed knees. Clin Orthop Relat Res 358, 188–193.

Kaplan N, Wickiewicz TL, Warren RF (1990): Primary surgical treatment of anterior cruciate ligament ruptures. A long-term follow-up study. Am J Sports Med 18, 354–358

Kartus J, Movin T, Karlsson J (2001): Donor-site morbidity and anterior knee problems after anterior cruciate ligament reconstruction using autografts. Arthroscopy 17, 971–980

Kartus J, Stener S, Köhler K, Sernert N, Eriksson BI, Karlsson J (1997): Is bracing after anterior cruciate ligament reconstruction necessary? A 2-year follow-up of 78 consecutive patients rehabilitated with or without a brace. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 5, 157–161

Kay J, Memon M, Shah A, Yen YM, Samuelsson K, Peterson D, Simunovic N, Flageole H, Ayeni OR (2018): Earlier anterior cruciate ligament reconstruction is associated with a decreased risk of medial meniscal and articular cartilage damage in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 26, 3738-3753

Keays SL, Bullock-Saxton JE, Keays AC, Newcombe PA, Bullock MI (2007): A 6-year follow-up of the effect of graft site on strength, stability, range of motion, function, and joint degeneration after anterior cruciate ligament reconstruction: patellar tendon versus semitendinosus and Gracilis tendon graft. Am J Sports Med 35, 729–739

Keller SD, Majkut TC, Kosinski M, Ware JE Jr. (1999): Monitoring health outcomes among patients with arthritis using the SF-36 Health Survey: overview. Med Care 37, 1-9

Kennedy JC, Hawkins RJ, Willis RB, Danylchuck KD (1976): Tension studies of human knee ligaments. Yield point, ultimate failure, and disruption of the cruciate and tibial collateral ligaments. J Bone Joint Surg Am 58, 350–355

Kessler MA, Behrend H, Henz S, Stutz G, Rukavina A, Kuster MS (2008): Function, osteoarthritis and activity after ACL-rupture: 11 years follow-up results of conservative versus reconstructive treatment. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 16, 442–448.

Ko Y, Lo NN, Yeo SJ, Yang KY, Yeo W, Chong HC, Thumboo J (2013): Comparison of the responsiveness of the SF-36, the Oxford Knee Score, and the Knee Society Clinical Rating System in patients undergoing total knee replacement Qual Life Res 22, 2455–2459

Kocher MS, Tucker R, Briggs KK (2005): Relationship between subjective and objective assessment of outcomes after anterior cruciate ligament reconstruction. J Knee Surg 18, 73–81

Kouvelioti V, Kellis E, Kofotolis N, Amiridis I (2015): Reliability of Single-leg and Double-leg Balance Tests in Subjects with Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Controls. Res Sports Med 23, 151–166

Krause M., Freudenthaler F., Frosch KH, Achtnich A., Petersen W., Akoto R. (2018): Operative Versus Conservative Treatment of Anterior Cruciate Ligament Rupture. Dtsch Arztebl Int 115, 855-862

Kruse LM, Gray B, Wright RW (2012): Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review. J Bone Joint Surg Am 94, 1737–1748

Kuster MS, Grob K, Kuster M, Wood GA, Gächter A (1999): The benefits of wearing a compression sleeve after ACL reconstruction. Med Sci Sports Exerc 31, 368–371

Kustos T, Bálint L, Than P, Bárdos T (2004): Comparative study of autograft or allograft in primary anterior cruciate ligament reconstruction. Int Orthop 28, 290–293

Lee S, Seong SC, Jo H, Park YK, Lee MC (2004): Outcome of anterior cruciate ligament reconstruction using quadriceps tendon autograft. Arthroscopy 20, 795–802

Lephart SM, Kocher MS, Harner CD, Fu FH (1993): Quadriceps strength and functional capacity after anterior cruciate ligament reconstruction. Patellar tendon autograft versus allograft. Am J Sports Med 21, 738–743

Leppänen M, Pasanen K, Krosshaug T, Kannus P, Vasankari T, Kujala UM, Bahr R, Perttunen J, Parkkari J (2017): Sagittal Plane Hip, Knee, and Ankle Biomechanics and the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury: A Prospective Study. Orthop J Sports Med 5, 2325967117745487 published online 2017 Dec 2

Lobb R, Tumilty S, Claydon LS (2012): A review of systematic reviews on anterior cruciate ligament reconstruction rehabilitation. Phys Ther Sport 13, 270–278

DGU (2018): Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der vorderen Kreuzbandruptur. S1-Leitlinie der deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie. https://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/012-005.html abgerufen am 27.07.2019

Lobenhoffer P, Tscherne H (1993): Rupture of the anterior cruciate ligament. Current status of treatment. Unfallchirurg 96, 150–168

Lowe WR, Warth RJ, Davis EP, Bailey L (2017): Functional Bracing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Systematic Review. J Am Acad Orthop Surg 25, 239–249

Lysholm J, Nordin M, Ekstrand J, Gillquist J (1984): The effect of a patella brace on performance in a knee extension strength test in patients with patellar pain. Am J Sports Med 12, 110–112

MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Huebert D (1995): Effects of an accelerated rehabilitation program after anterior cruciate ligament reconstruction with combined semitendinosus-gracilis autograft and a ligament augmentation device. Am J Sports Med 23, 588–592

MacDonald PB, Hedden D, Pacin O, Sutherland K (1996): Proprioception in anterior cruciate ligament-deficient and reconstructed knees. Am J Sports Med 24, 774–778

Mahapatra P, Horriat S, Anand BS (2018): Anterior cruciate ligament repair - past, present and future. J Exp Orthop 5, 20

Majewski M, Susanne H, Klaus S (2006): Epidemiology of athletic knee injuries: A 10-year study. Knee 13, 184–188

Mariani PP, Cerullo G, Iannella G (2013): Simultaneous rupture of the patellar tendon and the anterior cruciate ligament: report of three cases. J Knee Surg 1, 53-57

Mattacola CG, Perrin DH, Gansneder BM, Gieck JH, Saliba EN, McCue FC 3rd (2002): Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. J Athl Train 37, 262–268

Mayr HO, Stüeken P, Münch EO, Wolter M, Bernstein A, Suedkamp NP, Stoehr A (2014): Brace or no-brace after ACL graft? Four-year results of a prospective clinical trial. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 22, 1156–1162

Mayr HO, Weig TG, Plitz W (2004): Arthrofibrosis following ACL reconstruction--reasons and outcome. Arch Orthop Trauma Surg 124, 518–522

McDevitt ER, Taylor DC, Miller MD, Gerber JP, Ziemke G, Hinkin D, Uhorchak JM, Arciero RA, Pierre PS (2004): Functional bracing after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective, randomized, multicenter study. Am J Sports Med 32, 1887–1892

Melegati G, Tornese D, Bandi M, Volpi P, Schonhuber H, Denti M (2003): The role of the rehabilitation brace in restoring knee extension after anterior cruciate ligament reconstruction: a prospective controlled study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 11, 322–326

Mihelic R, Jurdana H, Jotanovic Z, Madjarevic T, Tudor A (2011): Long-term results of anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison with non-operative treatment with a follow-up of 17-20 years Int Orthop 35, 1093–1097

Miller MD, Nichols T, Butler CA (1999): Patella fracture and proximal patellar tendon rupture following arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy 15, 640–643

Mir SM, Hadian MR, Talebian S, Nasseri N (2008): Functional assessment of knee joint position sense following anterior cruciate ligament reconstruction Br J Sports Med 42, 300–303

Möller E, Forssblad M, Hansson L, Wange P, Weidenhielm L (2001): Bracing versus nonbracing in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized prospective study with 2-year follow-up. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 9, 102–108

Muellner T, Alacamlioglu Y, Nikolic A, Schabus R (1998): No benefit of bracing on the early outcome after anterior cruciate ligament reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 6, 88–92

Nagai T, Heebner NR, Sell TC, Nakagawa T, Fu FH, Lephart SM (2013): Restoration of sagittal and transverse plane proprioception following anatomic double-bundle ACL reconstruction. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 21, 2048–2056

Nieschalk M, Delank KW, Stoll W (1995): Quantitative evaluation of the Romberg test. Laryngorhinootologie 74, 489–494

Nordahl SH, Aasen T, Dyrkorn BM, Eidsvik S, Molvaer OI (2000): Static stabilometry and repeated testing in a normal population. Aviat Space Environ Med 71, 889–893

Oka S, Schuhmacher P, Brehmer A, Traut U, Kirsch J, Siebold R (2016): Histological analysis of the tibial anterior cruciate ligament insertion. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 24, 747–753

Ozenci AM, Inanmaz E, Ozcanli H, Soyuncu Y, Samanci N, Dagseven T, Balci N, Gur S (2007): Proprioceptive comparison of allograft and autograft anterior cruciate ligament reconstructions. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 15, 1432–1437

Paine R, Lowe W (2012): Comparison of Kneelax and KT-1000 knee ligament arthrometers. J Knee Surg 25, 151–154

Palm HG, Brattinger F, Stegmueller B, Achatz G, Riesner HJ, Friemert B (2012): Effects of knee bracing on postural control after anterior cruciate ligament rupture. Knee 19, 664–671

Palmer I (2007): On the injuries to the ligaments of the knee joint: a clinical study. 1938. Clin Orthop Relat Res 454, 17–22

Papastergiou SG, Voulgaropoulos H, Mikalef P, Ziogas E, Pappis G, Giannakopoulos I (2006): Injuries to the infrapatellar branch(es) of the saphenous nerve in anterior cruciate ligament reconstruction with four-strand hamstring tendon autograft: vertical versus horizontal incision for harvest. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14, 789–793

Park C, Klatman S, Potter HG, Ranawat AS (2014): Acute host reaction after anterior cruciate ligament reconstruction. Am J Orthop (Belle Mead NJ) 43, 78–82

Paulos LE, Butler DL, Noyes FR, Grood ES (1983): Intra-articular cruciate reconstruction. II: Replacement with vascularized patellar tendon. Clin Orthop Relat Res 172, 78–84

Perlau R, Frank C, Fick G (1995): The effect of elastic bandages on human knee proprioception in the uninjured population. Am J Sports Med 23, 251–255

Petersen W, Tillmann B (2002): Anatomy and function of the anterior cruciate ligament. Orthopade 31, 710–718

Petersen W, Zantop T (2007): Anatomy of the anterior cruciate ligament with regard to its two bundles. Clin Orthop Relat Res 454, 35–47

Petersen W, Braun C, Bock W, Schmidt K, Weimann A, Drescher W, Eiling E, Stange R, Fuchs T, Hedderich J et al. (2005): A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience Arch Orthop Trauma Surg 125, 614–621

Peterson RK, Shelton WR, Bomboy AL (2001): Allograft versus autograft patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction: A 5-year follow-up. Arthroscopy 17, 9–13

Pezzullo DJ, Fadale P (2010): Current controversies in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. Sports Med Arthrosc Rev 18, 43–47

Pförringer W, Kremer C (2005): Die Nachbehandlung operativ versorgter frischer vorderer Kreuzbandrupturen – eine randomisierte prospektive Studie. Sportverletz Sportschaden 19, 134–139

Pinczewski LA, Lyman J, Salmon LJ, Russell VJ, Roe J, Linklater J (2007): A 10-year comparison of anterior cruciate ligament reconstructions with hamstring tendon and patellar tendon autograft: a controlled, prospective trial. Am J Sports Med 35, 564–574

Poehling GG, Curl WW, Lee CA, Ginn TA, Rushing JT, Naughton MJ, Holden MB, Martin DF, Smith BP (2005): Analysis of outcomes of anterior cruciate ligament repair with 5-year follow-up: allograft versus autograft. Arthroscopy 21, 774–785

Rambaud A, Samozino P, Edouard P (2016): Functional tests can they help in the decision to return to sports after anterior cruciate ligament? Example with Hop tests. Ann Phys Rehabil Med 59, 19–20

Reddy KI, Johnston LR, Wang W, Abboud RJ (2011): Does the Oxford Knee Score complement, concur, or contradict the American Knee Society Score? J Arthroplasty 26, 714–720

Reider B, Arcand MA, Diehl LH, Mroczek K, Abulencia A, Stroud CC, Palm M, Gilbertson J, Staszak P (2003): Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy 19, 2–12

Reinhardt KR, Hetsroni I, Marx RG (2010): Graft selection for anterior cruciate ligament reconstruction: a level I systematic review comparing failure rates and functional outcomes. Orthop Clin North Am 41, 249–262

Relph N, Herrington L, Tyson S (2014): The effects of ACL injury on knee proprioception: a meta-analysis. Physiotherapy 100, 187–195

Renstrom P, Ljungqvist A, Arendt E, Beynnon B, Fukubayashi T, Garrett W, Georgoulis T, Hewett TE, Johnson R, Krosshaug T et al. (2008): Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. Br J Sports Med 42, 394–412

Risberg MA, Beynnon BD, Peura GD, Uh BS (1999): Proprioception after anterior cruciate ligament reconstruction with and without bracing. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 7, 303–309

Risberg MA, Holm I, Steen H, Eriksson J, Ekeland A (1999): The effect of knee bracing after anterior cruciate ligament reconstruction. A prospective, randomized study with two years' follow-up. Am J Sports Med 27, 76–83

Roberts D, Fridén T, Zätterström R, Lindstrand A, Moritz U (1999): Proprioception in people with anterior cruciate ligament-deficient knees: comparison of symptomatic and asymptomatic patients. J Orthop Sports Phys Ther 29, 587–594

Rodríguez-Merchán EC (2016): Knee Bracing After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. Orthopedics 39, 602-609

Rogers, JH (1980): Romberg and his test. J Laryngol Otol 94, 1401–1404

Rougier PR, Berger S, Barral S, Rachet O (2012): Biomechanical analysis of postural strategies over the first two months following anterior cruciate ligament reconstruction. Motor Control 16, 94–105

Rudolph KS, Axe MJ, Buchanan TS, Scholz JP, Snyder-Mackler L (2001): Dynamic stability in the anterior cruciate ligament deficient knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 9, 62–71

Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L (2000): Dynamic stability after ACL injury: who can hop? Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 8, 262–269

Rupp S, Kohn D (2002): The anterior cruciate ligament as focus of interest. Orthopade 31, 701

Samuelsson K, Andersson D, Karlsson J (2009): Treatment of anterior cruciate ligament injuries with special reference to graft type and surgical technique: an assessment of randomized controlled trials. Arthroscopy 25, 1139–1174

Sanders TL, Kremers HM, Bryan AJ, Fruth KM, Larson DR, Pareek A, Levy BA, Stuart MJ, Dahm DL, Krych AJ (2016): Is Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Effective in Preventing Secondary Meniscal Tears and Osteoarthritis? Am J Sports Med 44, 1699–1707

Schindler OS (2012a): Surgery for anterior cruciate ligament deficiency: a historical perspective. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 20, 5–47

Schindler OS (2012b): The story of anterior cruciate ligament reconstruction − Part 1. J Perioper Pract 22, 163–171

Schmalz T, Blumentritt S, Wagner R, Junge R (1998): Evaluation with biomechanical gait analysis of various treatment methods after rupture of the anterior cruciate ligament. Sportverletz Sportschaden 12, 131–137

Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M (2002): Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. Arthroscopy 18, 177–182

Seiler H, Frank HR (1993): Naht am vorderen Kreuzband − was ist die Methode tatsächlich wert? Unfallchirurg 96, 443–450

Shelbourne KD, Gray T (2009): Minimum 10-year results after anterior cruciate ligament reconstruction: how the loss of normal knee motion compounds other factors related to the development of osteoarthritis after surgery. Am J Sports Med 37, 471–480

Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A, DeCarlo M (1991): Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. Am J Sports Med 19, 332–336

Shelton WR, Papendick L, Dukes AD (1997): Autograft versus allograft anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy 13, 446–449

Skinner HB, Barrack RL, Cook SD, Haddad RJ Jr (1984): Joint position sense in total knee arthroplastyJ Orthop Res 1, 276–283

Smith TO, Postle K, Penny F, McNamara I, Mann CJ (2014): Is reconstruction the best management strategy for anterior cruciate ligament rupture? A systematic review and meta-analysis comparing anterior cruciate ligament reconstruction versus non-operative treatment. Knee 21, 462–470

Stäubli HU, Schatzmann L, Brunner P, Rincón L, Nolte LP (1996): Quadriceps tendon and patellar ligament: cryosectional anatomy and structural properties in young adults. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 4, 100–110

Strand T, Mølster A, Hordvik M, Krukhaug Y (2005): Long-term follow-up after primary repair of the anterior cruciate ligament: clinical and radiological evaluation 15-23 years postoperatively. Arch Orthop Trauma Surg 125, 217–221

Strehl A, Eggli S (2007): The value of conservative treatment in ruptures of the anterior cruciate ligament (ACL). J Trauma 62, 1159–1162

Strobel MJ, Zantop T (Hrsg.): Arthroskopische Chirurgie; Teil 1: Kniegelenk, Band 3: Vorderes Kreuzband (VKB), VKB-Revision; 2. Auflage; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Strutzenberger G, Braig M, Sell S, Boes K, Schwameder H (2012): Effect of brace design on patients with ACL-ruptures. Int J Sports Med 33, 934–939

Sugimoto D, LeBlanc JC, Wooley SE, Micheli LJ, Kramer DE (2016): The Effectiveness of a Functional Knee Brace on Joint-Position Sense in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Individuals. J Sport Rehabil 25, 190–194

Swash M (1986): Position sense in a damaged knee. J Neurol Neurosurg Psychiatry 49, 100–101

Swirtun LR, Eriksson K, Renström P (2006): Who chooses anterior cruciate ligament reconstruction and why? A 2-year prospective study. Scand J Med Sci Sports 16, 441–446

Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N (2003): Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. Am J Sports Med 31, 22–529

Teske W, Anastisiadis A, Lichtinger T, von Schulze Pellengahr C, von Engelhardt LV, Theodoridis T (2010): Ruptur des vorderen Kreuzbands. Diagnostik und Therapie. Orthopade 39, 883–898

Valle C, Hirschmüller A, Schmitt-Sody M, Haller B, Keller M, Schoch W, Hoffman H, Minzlaff P (2018): Standards in der Nachbehandlung nach vorderem Kreuzbandersatz im deutschsprachigen Raum. Sportverletz Sportschaden 32, 103–110

Wagner M, Kääb MJ, Schallock J, Haas NP, Weiler A (2005): Hamstring tendon versus patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction using biodegradable interference fit fixation: a prospective matched-group analysis. Am J Sports Med 33, 1327–1336

Ware JE Jr, Keller SD, Hatoum HT, Kong SX (1999): The SF-36 Arthritis-Specific Health Index (ASHI): I. Development and cross-validation of scoring algorithms Med Care 37, MS40-50

Wellsandt E, Gardinier ES, Manal K, Axe MJ, Buchanan TS, Snyder-Mackler L (2016): Decreased Knee Joint Loading Associated With Early Knee Osteoarthritis After Anterior Cruciate Ligament Injury. Am J Sports Med 44, 143–151

Wojtys EM, Huston LJ (2000): Longitudinal effects of anterior cruciate ligament injury and patellar tendon autograft reconstruction on neuromuscular performance. Am J Sports Med 28, 336–344

Woo SL, Hollis JM, Adams DJ, Lyon RM, Takai S (1991): Tensile properties of the human femur-anterior cruciate ligament-tibia complex. The effects of specimen age and orientation. Am J Sports Med 19, 217–225

Wroble RR, Van Ginkel LA, Grood ES, Noyes FR, Shaffer BL (1990): Repeatability of the KT-1000 arthrometer in a normal population. Am J Sports Med 18, 396–399

Wu GK, Ng GY, Mak AF (2001): Effects of knee bracing on the functional performance of patients with anterior cruciate ligament reconstruction. Arch Phys Med Rehabil 82, 282–285

Xie L, Chen B, Wang X, Liu H, Zhu C, Wang Z (2011): Comparison study on recovery of proprioception between autograft and allograft for anterior cruciate ligament reconstruction. Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi 25, 907–911

Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K (1995): Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons. Am J Sports Med 23, 706–714

Yüksel HY, Erkan S, Uzun M (2006): The evaluation of intraarticular lesions accompanying ACL ruptures in military personnel who elected not to restrict their daily activities: the effect of age and time from injury. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 14, 1139–1147

Zhou MW, Gu L, Chen YP, Yu CL, Ao YF, Huang HS, Yang YY (2008): Factors affecting proprioceptive recovery after anterior cruciate ligament reconstruction. Chin Med J (Engl) 121, 2224–2228

Zouita Ben Moussa A, Zouita S, Dziri C, Ben Salah FZ (2009): Single-leg assessment of postural stability and knee functional outcome two years after anterior cruciate ligament reconstruction. Ann Phys Rehabil Med, 475–484

8. Danksagung

Der Dank gilt vor allem Herrn Prof. Dr. med. M. Wachowski für die verlässliche und stets konstruktive Unterstützung meiner Dissertation sowie Herrn Dr. med. C. Obermeyer für die kontinuierliche Betreuung dieser Arbeit. Recht herzlich bedanke ich mich ebenfalls bei allen Mitarbeitern der Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Plastische Chirurgie der Universitätsmedizin Göttingen unter dem Direktorium von Herrn Univ.-Prof. Dr. med. W. Lehmann.

Ein besonderer Dank gilt meinen Mitdoktorranden Frau Jana Großmann und Herrn Frederik Maurer für die gegenseitige Unterstützung und Zusammenarbeit.